

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÕES NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GRANDE, FLORIANÓPOLIS – SC**

João Ricardo Prochmann

Orientadora: Nadia Bernardi Bonumá

2014.2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

João Ricardo Prochmann

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCEPTIBILIDADE À
INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO
GRANDE, FLORIANÓPOLIS – SC**

Trabalho apresentado à
Universidade Federal de Santa
Catarina para Conclusão do
Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e
Ambiental

Orientadora: Prof. Dr. Nadia
Bernardi Bonumá


FLORIANÓPOLIS, SC
DEZEMBRO/2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**ANÁLISE ESPACIAL DA SUSCEPTIBILIDADE À
INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO
GRANDE, FLORIANÓPOLIS – SC**

JOÃO RICARDO PROCHMANN

Trabalho submetido à banca examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso em Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental - TCC II



Prof. Dr. Nadia Bernardi Bonumá
(Orientadora)



Prof. Dr. Cesar Augusto Pompêo
(Membro da Banca)



Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffé
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial à minha família, pelo apoio durante toda a minha vida e minha graduação.

A minha orientadora Professora Nadia Bernardi Bonumá e ao Professor Rafael Augusto dos Reis Higashi pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de trabalho, pela contribuição no desenvolvimento pessoal e profissional ao longo dos dois anos de estágio e pela compreensão quanto aos momentos de ausência para a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso.

A turma de Engenharia Sanitária e Ambiental de 2009.1 pela amizade e memórias inesquecíveis.

RESUMO

Os eventos de enchentes e inundações nas áreas urbanas acarretam transtornos e prejuízos para a população e muitas vezes resultam em vítimas, sendo agravados em função de diversos fatores. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar espacialmente a susceptibilidade à inundações da bacia hidrográfica do Córrego Grande, em Florianópolis, Santa Catarina. De modo a entender os processos que levam à ocorrência de inundações na bacia foi realizada a caracterização morfométrica da bacia, que serve como indicativo da tendência natural da bacia em eventos de precipitação intensa e concentrada. Para elaborar o mapa de susceptibilidade à inundações recorreu-se à metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP) proposta por Saaty. Foram elaborados os mapas temáticos de altitude, declividade, uso e ocupação do solo e tipo de solos. Posteriormente, foram atribuídos pesos de modo a classificar hierarquicamente a contribuição para a ocorrência das inundações das variáveis selecionadas. Num terceiro momento, por meio do uso de técnicas de geoprocessamento facilitadas pelo software gerenciador de SIG (ArcGIS), realizou-se o cruzamento dos elementos considerados e foram atribuídos valores que identificam as áreas hierarquicamente como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta susceptibilidade à inundações. A análise integrada das características morfométricas apontam que a bacia hidrográfica possui propensão à inundações. As áreas com maior susceptibilidade à inundações identificadas no mapa de susceptibilidade encontram-se próximas ao exutório, em região com relevo predominantemente plano, baixa altitude e urbanização acentuada compreendendo mais de 70% das unidades habitacionais da bacia hidrográfica. Já a classe de baixa susceptibilidade à inundações destacou-se, abrangendo 61% da área total da bacia hidrográfica, em áreas onde predominam florestas e relevo fortemente ondulado. O ferramental metodológico utilizado permitiu o julgamento das variáveis de modo imparcial e minimizou os erros durante o processo, porém, para realizar a análise em escala mais detalhada como no presente estudo, recomenda-se o aprimoramento da metodologia.

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento de áreas suscetíveis. Sistemas de informações geográficas. Método Analítico Hierárquico.

ABSTRACT

The flood episodes in the urban areas cause damage and losses to the population and often result in victims, being increased due to several factors. This study aims to spatially analyze the flood susceptibility of the Córrego Grande watershed, located in Florianópolis, Santa Catarina. In order to understand the processes that leads to the occurrence of floods, the morphometric characterization of the basin was done, since it can be used as an indicator of the basin natural susceptibility in intense and concentrated rainfall events. To generate the flood susceptibility map the Saaty's analytic hierarchy process methodology was used. The thematic maps of elevation, slope, land use and type of soil were elaborated. Subsequently, weights were assigned to rankify the contribution to the occurrence of floods of the selected variables. Thirdly, through the use of GIS techniques facilitated by the GIS manager software (ArcGIS), the crossing of the considered elements was performed and values that identify the areas hierarchically as very low, low, medium, high and very high susceptibility to flooding were assigned. The integrated analysis of morphometric features indicated that basin has propensity for flooding. Areas with greater susceptibility to flooding identified in the susceptibility map are close to the outlet region with mainly flat, low altitude and intense urbanization comprising over 70% of the watershed's residences. The class of low susceptibility to floods stood out, covering 61% of the total catchment area, in areas where forests and heavily undulating predominate. The methodological tools used allowed the trial of variables impartially and minimized the errors during the process, however, to perform the analysis in more detailed scale as in this study, the improvement of the methodology is recommended.

KEY-WORDS: Susceptible area analysis. Geographic Information System. Analytic Hierarchy Process.

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	OBJETIVOS	21
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1.	BACIA HIDROGRÁFICA	23
3.1.1.	<i>Características Morfométricas</i>	<i>25</i>
3.1.1.1.	Características geométricas.....	26
3.1.1.1.1	Área de drenagem	27
3.1.1.1.2	Perímetro.....	27
3.1.1.1.3	Coeficiente de Compacidade	27
3.1.1.1.4	Índice de Circularidade	27
3.1.1.1.5	Fator de Forma	28
3.1.1.2.	Características da rede de drenagem	29
3.1.1.2.1	Ordem dos cursos de água	29
3.1.1.2.2	Densidade de drenagem	30
3.1.1.2.3	Índice de Sinuosidade	30
3.1.1.3.	Características do relevo	31
3.1.1.3.1	Altitude média da bacia	31
3.1.1.3.2	Declividade média da bacia	31
3.1.1.3.3	Declividade do curso de água principal	32
3.2.	INUNDAÇÕES URBANAS	33
3.3.	MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS	35
3.4.	PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)	36
3.4.1.	<i>Estruturação do Método</i>	<i>38</i>
3.4.1.1.	Estruturação da hierarquia.....	38
3.4.1.2.	Julgamentos comparativos.....	38
3.4.1.3.	Síntese das prioridades	40
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1.	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	43
4.2.	BASE CARTOGRÁFICA.....	45
4.3.	IMAGENS DE SATÉLITE	46
4.4.	SOFTWARES.....	48
4.5.	PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS.....	48
4.6.	MODELO DIGITAL DO TERRENO.....	49

4.7.	DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA E EXTRAÇÃO DA DRENAGEM	50
4.8.	ANÁLISE MORFOMÉTRICA	51
4.9.	MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÕES PELO MÉTODO AHP	52
4.9.1.	<i>Definição dos critérios e justificativas</i>	53
4.9.1.1.	Altitude	53
4.9.1.2.	Declividade	53
4.9.1.3.	Uso e ocupação do solo	54
4.9.1.4.	Solos	54
4.9.2.	<i>Mapeamento e análise das variáveis</i>	54
4.9.2.1.	Mapa hipsométrico	55
4.9.2.2.	Mapa de declividades	55
4.9.2.3.	Mapa de uso e ocupação do solo	56
4.9.2.4.	Mapa pedológico	57
4.9.3.	<i>Aplicação do método de decisão multicriterial</i>	58
4.9.3.1.	Fase teórica	58
4.9.3.2.	Fase operacional	61
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1.	ANÁLISE DOS FATORES MORFOMÉTRICOS	63
5.1.1.	<i>Características geométricas</i>	63
5.1.2.	<i>Características da rede de drenagem</i>	64
5.1.3.	<i>Características do relevo</i>	65
5.2.	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS	67
5.3.	MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS	72
6.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	77
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escala fundamental proposta por Saaty (1990).	39
Tabela 2. Índice de consistência randômico.	41
Tabela 3. Pesos do mapa hipsométrico.	55
Tabela 4. Classes de declividade.	56
Tabela 5. Pesos do mapa de declividades.	56
Tabela 6. Pesos do mapa de uso e ocupação.	57
Tabela 7. Pesos do mapa pedológico.	58
Tabela 8. Matriz de comparação pareada.	60
Tabela 9. Pesos para elaboração do mapa de susceptibilidade.	60
Tabela 10. Reordenação das classes de susceptibilidade.	62
Tabela 11. Características geométricas.	63
Tabela 12. Características da rede de drenagem.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O Ciclo Hidrológico da Água.	24
Figura 2. Classificação conforme o Modelo de Strahler.	29
Figura 3. Esquema de enchentes e inundações.	34
Figura 4. Estrutura do Processo Analítico Hierárquico.	37
Figura 5. Estrutura da matriz quadrada de resultados.	40
Figura 6. Localização da bacia hidrográfica.	43
Figura 7. Mapa dasimétrico da bacia hidrográfica.	44
Figura 8. Base cartográfica utilizada.	46
Figura 9. Imagem de satélite utilizada em escala 1:3.000.	47
Figura 10. TIN da área de estudo.	50
Figura 11. Sobreposição das redes de drenagem.	51
Figura 12. Fluxograma da metodologia aplicada.	53
Figura 14. Estrutura do problema hierarquizada.	59
Figura 15. Fluxograma da álgebra de mapas.	61
Figura 16. Curva hipsométrica da Bacia Hidrográfica.	65
Figura 17. Curva de declividades da Bacia Hidrográfica.	66
Figura 18. Perfil longitudinal do Córrego Grande.	67
Figura 19. Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica.	68
Figura 20. Mapa de declividades da Bacia Hidrográfica.	69
Figura 21. Classes de urbanização da Bacia Hidrográfica.	70
Figura 22. Mapa de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica.	71
Figura 23. Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica.	72
Figura 24. Mapa de susceptibilidade à inundações.	73
Figura 25. Abrangência das classes de susceptibilidade.	74
Figura 26. Região de maior susceptibilidade.	75

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno da inundação é um evento natural, dado pelo extravasamento da água para o leito maior do rio, fato propiciado por precipitações intensas fazendo com que a quantidade de água que chega simultaneamente para um ponto do rio seja maior do que sua capacidade de escoamento (DEFESA CIVIL, 1996). Porém, as planícies de inundações dos rios, áreas geralmente planas e férteis favorecem o assentamento humano (ENOMOTO, 2004), transformando este evento natural em um risco para a população que ali reside.

Tucci (2005) cita que a planície de inundação de um rio pode ter diferentes níveis de risco, de acordo com a seção transversal considerada e a topografia da várzea inundável. Quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor do rio é superior a dois anos, existe a tendência da população em ocupar a área.

Esse assentamento humano nas várzeas gera, por ocasião das cheias, danos custosos aos ocupantes, e, também, às populações a montante, que são afetadas pelas elevações de níveis decorrentes da obstrução ao escoamento natural causada pelos primeiros ocupantes.

Os eventos de enchentes e inundações nas áreas urbanas acarretam transtornos e prejuízos para a população, e muitas vezes resultam em vítimas, se agravando em função do aumento da urbanização, o uso indevido da terra, assoreamento dos rios, desmatamento de cobertura vegetal e principalmente a ocupação das áreas suscetíveis à inundação. Estas práticas impedem a infiltração das águas no subsolo fazendo com que escoem diretamente para os rios, ocasionando perdas de solo e aumento da vazão dos rios.

Em conjunto aos itens citados, outros fatores peculiares do Estado de Santa Catarina auxiliam no aumento dos problemas causados pelas inundações, como o clima tropical e subtropical, que geram altos índices pluviométricos e a presença de elevados e extensos maciços montanhosos, transformando Santa Catarina em um dos estados que mais sofre com desastres naturais, sendo as inundações os desastres mais recorrentes no Estado. Em consequência a estes fatores, no ano de 2010 sofreu 1,4 bilhão de reais em prejuízos somente com inundações (HERMANN, 2014).

Ainda, os municípios que mais sofrem com as inundações estão situados nas planícies costeiras e/ou nas bacias hidrográficas dos grandes rios catarinenses. De acordo com Herrmann (2014) foram registradas em Santa Catarina, durante 1980 a 2000, cerca de 1.215 enchentes, 322 enxurradas e 117 deslizamentos. Em Florianópolis foram registrados 22 episódios

pluviais, totalizando 13 enchentes e 09 deslizamentos, causando danos materiais e humanos à população instalada em áreas de risco, sendo um dos 10 municípios mais atingidos por inundações do Estado de Santa Catarina.

A bacia hidrográfica do Córrego Grande, localizada na parte central de Florianópolis teve sua urbanização de forma desordenada, desta maneira condicionando a ocupação residencial em áreas com maior propensão a desastres naturais e levando a população a viver em áreas de risco. Existem inundações datadas desde o início da década de 1980 na bacia hidrográfica, sendo a inundação registrada na Rua João Pio Duarte em 1981 o episódio inicial, havendo ocorrências registradas desde então.

Diante do exposto, existe a necessidade do mapeamento das áreas que possuem maiores susceptibilidade as inundações, de modo a prevenir prejuízos e evitar as adversidades. De acordo com Mendes e Cirilo (2001), é essencial a existência de informações sistematizadas para subsidiar, por exemplo, a previsão e o controle de processos naturais ou induzidos pelo homem nas bacias.

De modo a caracterizar as áreas vulneráveis à inundações, principalmente na área urbana, o presente trabalho visa a caracterização morfométrica para avaliar sua susceptibilidade geológica a sofrer inundações e o mapeamento destas áreas, utilizando metodologia baseada no processo de decisão hierárquica (AHP) para identificar os níveis de susceptibilidade à inundações a que está sujeita a bacia hidrográfica, levando em conta características fisiográficas e a impermeabilização do solo, que influenciam diretamente nestas ocorrências.

O ferramental metodológico escolhido vem sendo utilizado em diversos estudos de análise de mapas de inundação, como por Grassi et al. (2013) no mapeamento da vulnerabilidade a inundações no Estado do Paraná, por Magalhães et al. (2011) no mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí e por Andrade, Ferreira e Silva (2014) na elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho foi realizar a análise espacial de susceptibilidade a inundações da bacia hidrográfica do Córrego Grande com base nas características físicas e no nível de impermeabilização do solo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar um Sistema de Informações Geográficas para gerar uma base digital topográfica, hidrológica e de uso e ocupação do solo a partir de cartas topográficas e imagens de satélite;
- Aplicar técnicas de geoprocessamento para obter e avaliar as características morfométricas quanto a propensão à inundações da bacia hidrográfica do Córrego Grande;
- Classificar gradualmente e mapear as áreas suscetíveis à inundações na bacia hidrográfica do Córrego Grande.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. BACIA HIDROGRÁFICA

A importância de compreender a dinâmica de uma bacia hidrográfica está ligada a diversas questões de interesse à sociedade, sendo importante entender as transformações feitas pelo homem e as respostas que a mesma oferece.

A bacia hidrográfica é uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Já para Tucci (2000) a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Pires et al. (2005) destacam que o conceito tem sido ampliado ao longo dos anos, sendo a bacia hidrográfica compreendida como um sistema biofísico complexo, que evidencia sistemas hidrológicos e ecológicos coesos.

Conforme o Programa Nacional de Bacias Hidrográficas, elas são compreendidas como uma área fisiográfica drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos de água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água, constituindo uma unidade ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no meio ambiente (BRASIL, 1987).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Portanto, o conhecimento do conceito de bacia hidrográfica é de grande importância.

O termo sub-bacia hidrográfica também está incorporado na literatura técnico-científica, porém existe grande divergência de conceitos. Para Santana (2003), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor.

Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Portanto, o termo sub-bacia hidrográfica é relativo. Assim, as sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal da bacia hidrográfica.

Conceitualmente, a bacia hidrográfica tem sido utilizada como unidade de gestão nas áreas relacionadas ao planejamento ambiental,

especialmente na gestão dos recursos hídricos, sendo utilizado o conceito em políticas e legislações internacionais como unidade de gestão e política terrestre (RUFFINO; SANTOS, 2002).

A adoção da bacia como uma unidade de planejamento é de aceitação universal, pois constitui um sistema natural delimitado no espaço, onde suas interações físicas são integradas e assim, de interpretação mais fácil (SANTOS, 2004).

Para a compreensão da dinâmica da bacia hidrográfica é essencial conhecer o ciclo hidrológico, pois a água precipitada nesta área será transportada de acordo com o ambiente que a recebe, pois a quantidade de água em um ambiente está intrinsicamente ligada com a formação da paisagem encontrada.

Segundo Lima (2008), “o ciclo da água envolve vários e complicados processos hidrológicos: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial, etc.”. Pode-se acrescentar ainda o processo de escoamento subsuperficial. Em síntese, pode ser representado conforme a Figura 1.

Figura 1. O Ciclo Hidrológico da Água.



Fonte: USGS (United States Geological Survey), 2014.¹

Este ciclo apresentado ocorre em condições naturais da bacia hidrográfica, mas é de conhecimento que ações antrópicas podem alterá-lo

¹ Disponível em: <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

profundamente. De acordo com Botelho e Silva (2010), essas alterações percebem-se em áreas rurais e urbanas.

Segundo Alvarez e Garcez (1988, p.43), “as características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico”.

Assim, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficial e subsuperficial. Cabe ressaltar que a ocupação da bacia hidrográfica e o processo de urbanização trazem grandes consequências para a questão. Segundo Tucci (2003):

o ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem entra dentro deste sistema e se concentra no espaço, produz grandes alterações que modificam dramaticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) no próprio homem e na natureza.

Existem vários fatores que alteram o ciclo hidrológico, entre eles cita-se a impermeabilização do solo, remoção da vegetação, alterações morfológicas na topografia, obras de engenharia nos canais fluviais e deposição irregular de resíduos, podendo amplificar a magnitude e a frequência das inundações (TUCCI, 2003).

3.1.1. Características Morfométricas

O comportamento de uma bacia hidrográfica está estreitamente relacionado a diversos elementos tais como: área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal dentre outros. A fim de entender a relação existente entre a morfologia e os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar as características da bacia em termos quantitativos.

Em análises hidrológicas ou ambientais, a caracterização morfométrica hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

Esta caracterização corresponde a um conjunto de procedimentos que definem aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a

interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999), que por sua vez evidenciam situações e valores que extrapolam as questões hidrológicas e geomorfológicas.

Cooke e Doornkamp (1990) apontam que estes indicadores se inter-relacionam e são responsáveis pela ocorrência de eventos de inundações. Estes podem ser divididos em transitórios, permanentes e mistos. Os fatores permanentes correspondem às características morfométricas da bacia hidrográfica de drenagem e à geologia.

Intrinsicamente todos esses índices estão relacionados com a susceptibilidade à ocorrência de enchentes e inundações, uma vez que expressam, mesmo que empiricamente, a maneira como se dá a infiltração e o escoamento das águas das chuvas na área compreendida por uma bacia hidrográfica. Portanto, com base na análise das características morfométricas, torna-se possível estabelecer a relação de quais regiões e sub-bacias são mais propensas à ocorrência de enchentes, e também a influência que algumas regiões e sub-bacias tem nas enchentes mais a jusante (OLIVEIRA et al., 2010).

Barbosa e Furrer (2011) mencionam que estes índices são comumente divididos em 3 grandes grupos: os que indicam características geométricas; os que indicam características da rede de drenagem e os que expressam características do relevo. Todos os parâmetros que serão avaliados e sua relação com o escoamento superficial, a vazão e, portanto seus comportamentos nos eventos de inundações encontram-se descritos nos itens a seguir.

Para o presente trabalho serão apresentados os índices que podem ser relacionados à susceptibilidade a inundações para as bacias hidrográficas.

3.1.1.1. Características geométricas

As características geométricas refletem o comportamento hidrológico da bacia em termos gerais, tanto relacionado ao escoamento quanto com o armazenamento da água.

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída após uma precipitação. Quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILLELA; MATTOS, 1975).

3.1.1.1.1 Área de drenagem

Quantifica a área em uma unidade de medida, por exemplo, km². Villela e Matos (1975) apontam como sendo a área plana em projeção horizontal, compreendida entre seus divisores topográficos.

3.1.1.1.2 Perímetro

Comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas (TONELLO et al., 2006).

3.1.1.1.3 Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) compara a forma da bacia com um círculo hipotético, constituindo a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. De acordo com Villela e Matos (1975) esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{A}$$

onde: K_c é o coeficiente de compacidade, adimensional; P é o perímetro da bacia, em km; A é a área de drenagem, em km².

Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu K_c for mais próximo da unidade. Isto acontece devido a maior facilidade na conversão da precipitação para o escoamento, ao mesmo tempo, para um trecho pequeno do rio principal, havendo acúmulo do fluxo (GUARIZ, 2008).

3.1.1.1.4 Índice de Circularidade

O índice de circularidade demonstra o quanto à forma da bacia se assemelha a de uma circunferência, assim como o coeficiente de compacidade.

Conforme Cardoso et al. (2006), o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada, simultaneamente ao coeficiente de compacidade. O cálculo é dado pela fórmula a seguir.

$$I_c = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

onde: I_c é o índice de circularidade, adimensional; A é a área de drenagem, em km²; P é o perímetro da bacia, em km.

Quanto mais próximo de 1,0 for o valor de I_c , mais próxima da forma circular será a bacia. Já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (BORSATO, 2005).

3.1.1.1.5 Fator de Forma

Esse fator relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, indica a tendência para enchentes da mesma.

$$F = \frac{A}{L^2}$$

onde: F é o fator de forma, adimensional; A é a área de drenagem, em km²; L é o comprimento do eixo da bacia, em km.

De acordo com Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo está menos sujeita a enchentes que outra com o mesmo tamanho, mas com fator de forma maior.

Isto ocorre, pois há a menor possibilidade da ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a área de abrangência da bacia hidrográfica, e também, numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia circular, na qual a concentração de todo deflúvio é dado em um único ponto.

3.1.1.2. Características da rede de drenagem

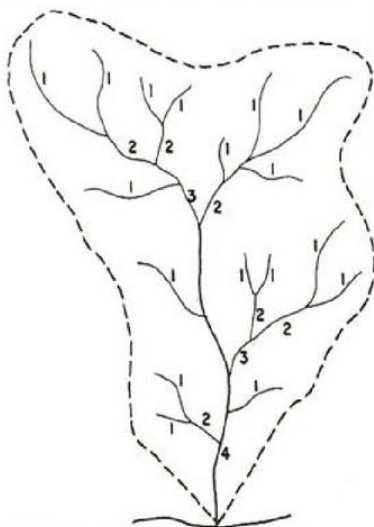
As características do padrão de drenagem ou da hidrografia repercutem no comportamento hidrológico e litológico de cada bacia.

3.1.1.2.1 Ordem dos cursos de água

Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra.

Permite estabelecer uma hierarquização das drenagens dentro da bacia e a hierarquização da própria bacia, estabelecendo a sua magnitude. Segundo a metodologia proposta por Strahler, os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e os de terceira ordem a partir da confluência de dois canais de segunda ordem, e assim por diante.

Figura 2. Classificação conforme o Modelo de Strahler.



Fonte: Christofolletti, 1980.

Zăvoianu (1985) aponta que a ordem dos cursos indica o grau de ramificação da bacia, sendo um fator importante para o conhecimento da velocidade com que a água deixa a bacia, de forma que a descarga aumenta exponencialmente em função da ordem hierárquica do canal.

3.1.1.2.2 Densidade de drenagem

De acordo com Christofolotti (1980), o cálculo da densidade de drenagem é importante na análise das bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que aumenta o valor numérico da densidade, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

Para ser calculado deve ser medidos tanto os rios perenes como os temporários e pode ser calculada pela seguinte equação.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

onde: D_d é a densidade de drenagem, km/km²; L é o comprimento total dos rios ou canais, em km; A é a área de drenagem, em km².

Guariz (2008) cita que este índice indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, dando uma ideia a respeito do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia.

3.1.1.2.3 Índice de Sinuosidade

É a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal (ALVES; CASTRO, 2003). A expressão para o cálculo é feita através da equação descrita abaixo.

$$S = \frac{L_p}{L_t}$$

onde: S é a sinuosidade do curso de água principal, adimensional; L_p é o comprimento total do curso de água, em km; L_t é a distância vetorial entre os extremos do canal, em km.

Alves e Castro (2003) apontam que valores de sinuosidade próximo a 1, indicam que o canal tem tendência a ser retilíneo e valores maiores que 2 indicam canais tortuosos. Valores entre 1 e 2 indicam canais com forma transicionais, regulares e irregulares

3.1.1.3. Características do relevo

As características do relevo descrevem diferentes compartimentos da paisagem, onde ocorrem processos como o fluxo de materiais em superfície, como a erosão, e em profundidade, como a infiltração, lixiviação e translocação.

3.1.1.3.1 Altitude média da bacia

A variação de altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, consequentemente sobre o deflúvio médio. Grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração. Mais significativas, porém, são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação (CASTRO; LOPES, 2001).

Para o cálculo da altitude média da bacia calcula-se a curva das frequências altimétricas, que é obtida através de um histograma apresentando as superfícies em km² e porcentagem compreendida entre as altitudes escalonadas, por exemplo, de 100 em 100 metros. Assim, é possível extrair a altitude média da bacia através da média ponderada sobre as áreas compreendidas (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

3.1.1.3.2 Declividade média da bacia

A declividade da bacia é uma característica de grande interesse hidrológico, especialmente para as bacias pequenas, nas quais o escoamento superficial será determinante na forma do hidrograma (LINSLEY et al., 1975).

A declividade da bacia ou dos terrenos da bacia tem uma importante e complexa relação com a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo e, a contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso d'água. É um dos fatores mais importantes que controla o tempo do escoamento superficial e da concentração da chuva e, tem correlação direta com a magnitude da enchente. Quanto maior a declividade, maior a variação das vazões instantâneas (PORTO; FILHO; DA SILVA, 1999).

Villela e Matos (1975) apontam que declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente,

infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

Há o interesse em representar as declividades da bacia hidrográfica através da curva de distribuição das declividades de uma bacia, essas curvas apresentam em abscissas a porcentagem em superfície dos terrenos cuja declividade excede os valores marcados em ordenadas (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

3.1.1.3.3 Declividade do curso de água principal

A água da precipitação concentra-se nos leitos fluviais depois de se escoar superficial e subterraneamente pelos terrenos da bacia e é conduzida em direção à sua foz.

A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes, sendo assim, este parâmetro é de suma importância para o manejo de bacias hidrográficas.

Conforme Garcez e Alvarez (1988) existem três métodos para o cálculo da declividade de álveo, sendo:

Declividade baseada nos extremos (S_1): Obtida dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos. Este valor superestima a declividade média do curso d'água e, conseqüentemente, o pico de cheia.

Declividade ponderada (S_2): Determina uma área entre esta e o eixo das abscissas igual a área compreendida entre a curva do perfil e o mesmo eixo. É um valor mais representativo e racional da declividade do perfil longitudinal.

Declividade equivalente constante (S_3): É o índice idealizado para representar o tempo de translação da água ao longo da extensão do perfil longitudinal; se o curso de água tivesse uma declividade fictícia constante igual a essa declividade equivalente, o tempo de translação seria o mesmo que o correspondente as declividades efetivas do perfil longitudinal. É a média harmônica ponderada da raiz quadrada das declividades dos diversos trechos retilíneos, tomando-se como peso a extensão de cada trecho.

A diferença entre este e o método da compensação de áreas, é que aqui, calculam-se as inclinações de cada um dos trechos, ao invés da área, como no outro método.

3.2. INUNDAÇÕES URBANAS

A ocorrência de inundações em centros urbanos é tão antiga quanto às cidades ou qualquer aglomerado urbano. A inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupam áreas onde a população utiliza para moradia, transporte, recreação, comércio, indústria, entre outros (TUCCI, 2007).

Estes eventos podem ser ocasionados devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização, tais como a impermeabilização das superfícies e canalização de córregos (TUCCI, 2007).

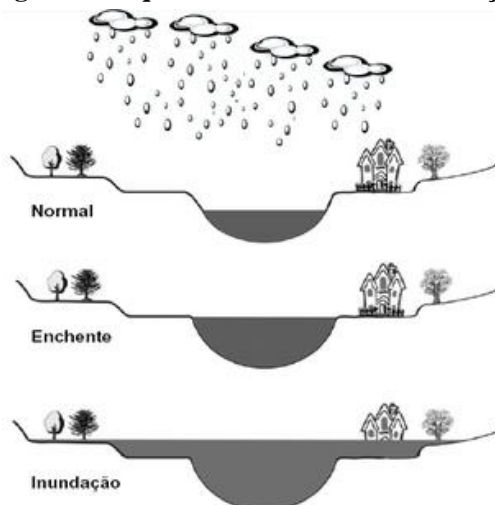
É comum empregarem-se palavras como enchente e inundação relacionadas ao nível de água atingido num período chuvoso ou por ocasião de uma chuva intensa isolada.

Porém, cabe ressaltar que existe uma diferença entre os fenômenos inundação e enchente (DEFESA CIVIL NACIONAL, 1996). A inundação é o transbordamento da água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas, enquanto que a enchente é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal.

Enchente, no caso, corresponde a uma elevação acentuada do nível d'água que, entretanto, mantém-se dentro do próprio leito normal do curso d'água natural. Por inundação entende-se uma elevação não usual de modo a provocar transbordamento e, em geral, prejuízos materiais e riscos de vida (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

A título de representação, a Figura 3 apresenta os três diferentes níveis de águas atingidos de um curso de água, correspondentes ao nível normal, à enchente e à inundação.

Figura 3. Esquema de enchentes e inundações.



Fonte: Goerl e Kobiyama, 2005.

Assim, inundação é o termo que define o extravasamento das águas do canal de drenagem principal de rios e córregos para as áreas adjacentes, tais como várzeas e planície de inundação ou leito maior (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

Tucci (2005) cita que isto ocorre quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoar para o sistema de drenagem, superando a capacidade do leito menor. Este é um processo natural do ciclo hidrológico devido à variabilidade climática de curto, médio e longo prazo. Estes eventos chuvosos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais.

As inundações podem ocorrer de forma brusca ou gradual, e existe certa dificuldade na distinção dos tipos de inundação, isto se deve a complicada identificação do fenômeno em campo e à ambiguidade das definições existentes, já que algumas características são similares para ambas às inundações (KOBİYAMA et al., 2006).

As inundações bruscas são provocadas por chuvas de alta intensidade e concentradas em locais de relevo acidentado ou em áreas urbanas, caracterizada pela elevação do nível de água de forma rápida. Este fenômeno é geralmente o resultado da associação de diversos processos atmosféricos e terrestres, como: precipitações intensas, umidade do solo, forma das encostas, relevos íngremes, superfícies impermeáveis e repentina descarga

de água, e em alguns casos todos os pressupostos podem estar presentes, o que eleva ao máximo o poder de destruição (HERRMANN, 2014).

Conforme Montz e Grunfest (2002), as inundações bruscas ocorrem de forma inesperada, sendo geralmente violentas e movendo-se de forma rápida quando associadas a um curso d'água, apresentando uma área de impacto relativamente pequena. Goerl e Kobiyama (2005) citam que as inundações bruscas costumam surpreender por ocorrer em um período curto, provocando danos materiais e humanos mais intensos do que nas inundações graduais.

As inundações graduais são caracterizadas pela elevação das águas de forma paulatina e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo, para após, escoarem gradualmente (CEPED UFSC, 2011). A elevação do fluxo de água é lenta, e normalmente também o rebaixamento, o que permite a adoção de algumas medidas preventivas e emergenciais.

Tucci et al. (2003) citam que a inundação gradual está fortemente associada ao processo de urbanização em função da impermeabilização do solo. Esta impermeabilização aumenta o escoamento fazendo com que grande volume de água chegue ao sistema de drenagem gerando inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície apresentava condições naturais.

Os episódios de inundação gradual são recorrentes em áreas urbanas, principalmente quando estas áreas apresentam ocupação desordenada em planícies de inundação, ou seja, o leitor maior do rio. As moradias e seus habitantes passar a estarem sujeitos aos desastres relacionados com o aumento do nível dos rios (CEPED UFSC, 2011).

3.3. MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS

Susceptibilidade significa algo ou alguém passível de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades, ou seja, a predisposição natural à ocorrência de um acaso. Assim, a susceptibilidade a inundações de uma área está diretamente relacionada à probabilidade dela em ser atingida por enchentes, cheias e alagamentos, desta forma, o mapa de susceptibilidade fornece informações para definir potenciais de ocorrência de inundações para o local.

O estudo direcionado ao mapeamento de áreas suscetíveis a inundações e escorregamentos é de fundamental importância, principalmente na realização de planejamentos urbanos, pois fornecem subsídios na execução de Planos Diretores, Planos de Ações Preventivos a Desastres, bem

como na tomada de decisão para amenizar, reduzir ou até mesmo eliminar as situações de riscos (CRISTO, 2002).

Ahmad e McCalpin (1999) citam que o mapa de susceptibilidade é fundamental para os planejadores, pois permite elaborar medidas de prevenção e amenização de danos e direcionar as políticas públicas para a regulamentação das formas de uso e ocupação da terra.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações é um recurso muito importante para a leitura e compreensão dos episódios de inundações, e auxilia na tomada de decisões para amenização desses problemas. Atualmente, em virtude da capacidade de armazenamento e análise de informações, o geoprocessamento surge como uma ferramenta dinâmica capaz de conferir mais precisão aos mapeamentos e à análise espacial (OLIVEIRA; GUASSELLI, 2011).

O mapa de susceptibilidade proposto neste trabalho é elaborado a partir de uma análise multicritério, um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis representadas e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final (MOURA, 2007).

A análise multicritério é definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar ou apoiar o processo de tomada de decisões, dada uma multiplicidade de critérios, estabelecendo uma relação de preferências entre as alternativas pré-avaliadas (ALMEIDA; COSTA, 2003 apud SILVA et al., 2009). Ainda, se destina ao desenvolvimento de estudos caracterizadores da realidade vigente e preditivos de situações futuras (MOURA, 2007).

Estas variáveis serão representadas por meio dos mapas temáticos em um Sistema de Informações Geográficas. Os SIGS possuem em seus sistemas um conjunto de ferramentas que geram informações necessárias à tomada de decisão, dentre elas a análise multicritério (SILVA et al., 2009).

Para a análise multicritério proposta recorrer-se-á a metodologia proposta por Saaty (1990), que auxilia na atribuição dos pesos dos planos de informação, para determinar a contribuição relativa de cada um, mas ainda assim o especialista ainda deve definir a hierarquia entre as variáveis e os pesos de cada componente de legenda das variáveis (MOURA, 2007).

3.4. PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP)

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é um método de análise multicritério estruturado para lidar com decisões complexas, identificando a

melhor opção dentro das possíveis alternativas e ajudando na determinação de prioridades.

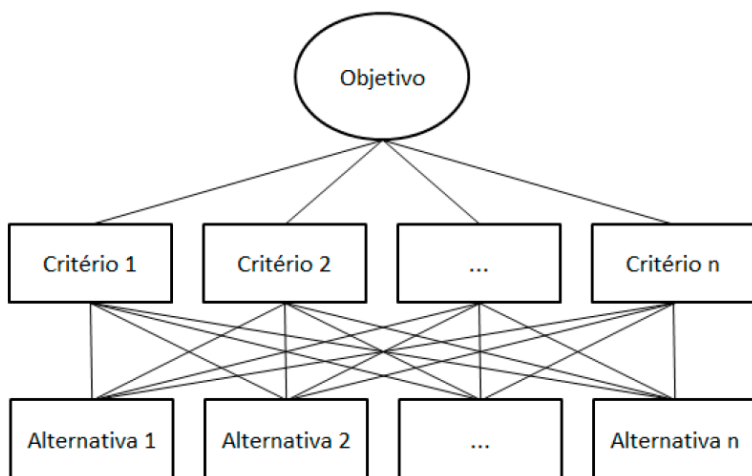
Foi desenvolvido durante a década de 70 para ser aplicado ao planejamento militar e empresarial, tomada de decisão, alocação de recursos escassos, resolução de conflitos e a necessária participação política nos acordos negociados (SAATY, 1986).

Esta técnica foi proposta para abordar o problema existente devido aos diferentes fatores que contribuem para a decisão, baseada na escolha lógica da comparação pareada, permitindo determinar a contribuição relativa de cada um dos fatores na ponderação de uma decisão.

Neste procedimento, os diferentes fatores são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme escala pré-definida.

Na metodologia AHP, esses fatores são arranjados de forma hierárquica, partindo do objetivo geral para os critérios, subcritérios e alternativas nos níveis sucessivos (SAATY, 1990), sendo decompostos em elementos menores conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4. Estrutura do Processo Analítico Hierárquico.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Teoricamente, o método ao invés de prescrever uma decisão correta, ele auxilia os tomadores de decisão a encontrar qual é a solução que melhor se encaixa para o problema. Isso implica que o AHP possui uma abordagem

baseada genuinamente na habilidade das pessoas de tomarem decisões críticas, tendo como princípio que para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento é tão valioso quanto os dados a serem utilizados.

O propósito do método é julgar as alternativas dadas para um objetivo em particular através do desenvolvimento de prioridades para essas alternativas e para os critérios selecionados.

3.4.1. Estruturação do Método

A aplicação é dividida em três diferentes etapas (SAATY, 1987), sendo elas:

- Estruturação da hierarquia (decomposição do problema);
- Julgamentos comparativos;
- Síntese das prioridades.

3.4.1.1. Estruturação da hierarquia

Na primeira etapa, o problema é decomposto nos seguintes níveis: 1) Objetivo principal; 2) Critérios; 3) Subcritérios (se necessário) e 4) Alternativas.

O objetivo desta etapa é fornecer uma linguagem clara para o debate de todo o processo decisório, sendo necessária a compreensão do problema a ser solucionado, analisando-se e caracterizando todo o contexto em que o problema está inserido. Assim, são criados os critérios e subcritérios que compõem a estrutura do modelo, devendo os mesmos serem precisos de modo a evitar dificuldades no processo de decisão.

3.4.1.2. Julgamentos comparativos

A segunda etapa consiste no processo do julgamento comparativo entre os critérios e subcritérios, para determinar o peso que cada um possui sobre a decisão e dentre as opções, de forma a avaliar o desempenho relativo da alternativa para cada um dos critérios. Tal relação pode ser realizada através de uma simples pergunta: “Com relação a determinado critério, quanto A é mais importante que B?”.

Essas comparações devem ter como base quatro axiomas (SAATY, 1990), que são:

- Comparação recíproca: Esse axioma aponta que a matriz de comparação elaborada é formada por pares de comparações recíprocas, ou seja, se A é x vezes (utilizando a Tabela 1) mais preferível que B, B é $1/x$ mais preferível que A. O objetivo é obter uma escala de dominância relativa (ou ordem) das alternativas comparadas.
- Homogeneidade: A homogeneidade é essencial para efetuar comparações significativas, como a mente não consegue comparar elementos discrepantes. Caso esse axioma não seja atendido, os elementos devem ser reestruturados de forma a pertencerem a grupos homogêneos, que possuam uma mesma ordem de magnitude.
- Independência: O peso de cada critério deve ser independente das alternativas consideradas.
- Expectativa: Supõe-se que o modelo englobe todos os critérios e alternativas necessárias, ou seja, uma estrutura hierárquica completa.

Os pares serão julgados de acordo com a escala desenvolvida por Saaty (1990) através de valores que variam de 1 a 9, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Escala fundamental proposta por Saaty (1990).

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.

Intensidade da importância	Definição	Explicação
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma solução de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty, 1990.

Os resultados obtidos a partir das comparações são colocados em uma matriz quadrada de ordem n , onde n é o número de critérios comparados. Cada elemento representa a comparação entre os critérios ou a importância relativa entre eles.

A matriz deve atender as seguintes condições:

Figura 5. Estrutura da matriz quadrada de resultados.

$$\begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

- $a_{ii} = 1$ - Todo elemento da diagonal principal deve ser igual a 1, pois representa a comparação dele com ele próprio.
- $a_{ij} > 0$ - Todos os elementos devem ser positivos, seguindo a escala de comparação por Saaty.
- $a_{ij} = 1 / a_{ji}$ pelo princípio da reciprocidade.

3.4.1.3. Síntese das prioridades

Esta etapa consiste na obtenção dos vetores de prioridade. O processo da alteração dos pesos de cada critério é realizado dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (SAATY, 1991).

Quando muitas comparações par-a-par são realizadas, algumas inconsistências podem aparecer, portanto, faz-se necessário a verificação da consistência dos valores julgados para realizar decisões baseadas nos resultados.

O processo analítico hierárquico incorpora uma técnica efetiva para checar a consistência dos julgamentos na elaboração da matriz de comparação. O teste é realizado com base no conceito de que quando se tem uma quantidade suficiente de dados, os outros podem ser obtidos logicamente a partir deste.

A razão de consistência define quão consistente foi o julgamento dos critérios quando realizadas as comparações par-a-par. Valores de ordem maior determinam uma maior inconsistência, sendo assumido como limite de inconsistência o valor de 0,10, fazendo-se necessário a reconsideração dos valores julgados se assumido um valor maior.

A razão de consistência pode ser calculada através da equação:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

onde: IC é o Índice de consistência e IR é o índice de consistência randômico.

O IC mede o quanto o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) da matriz se afasta da ordem (n) dessa matriz e pode ser calculado pela equação a seguir:

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{(n - 1)}$$

Quanto mais próximo o autovalor máximo for de n , maior a coerência das comparações. Ainda, o IR foi obtido experimentalmente com base na escala fundamental proposta por Saaty. O experimento resultou em uma tabela onde pode ser obtido o valor de IR de acordo com a ordem das matrizes de comparação. A Tabela 2 apresenta estes índices.

Tabela 2. Índice de consistência randômico.

Ordem	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty, 1991.

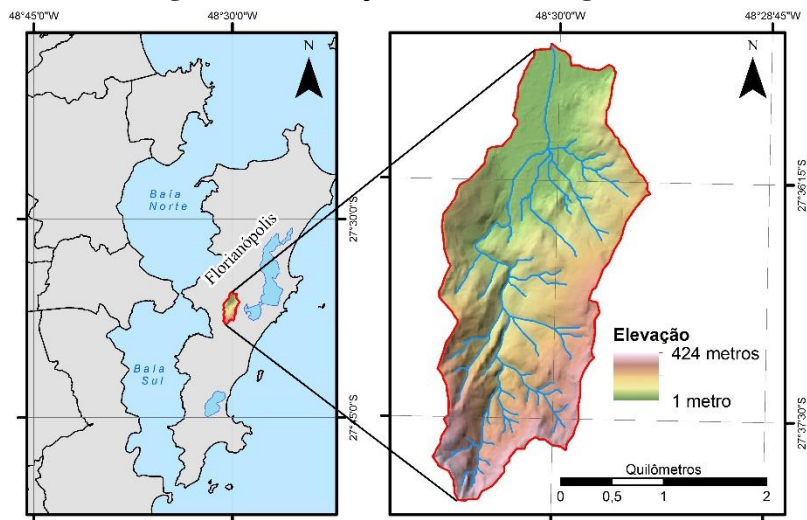
Assim, constatado que o valor de RC está dentro do limite previsto adotado, é possível comparar as alternativas e selecionar a melhor opção.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Itacorubi, mais especificamente a sub-bacia hidrográfica do Córrego Grande, formadora do rio homônimo. A bacia localiza-se na região centro-oeste da cidade de Florianópolis, em Santa Catarina (Figura 6), englobando os bairros Córrego Grande, Itacorubi e Pantanal.

Figura 6. Localização da bacia hidrográfica.

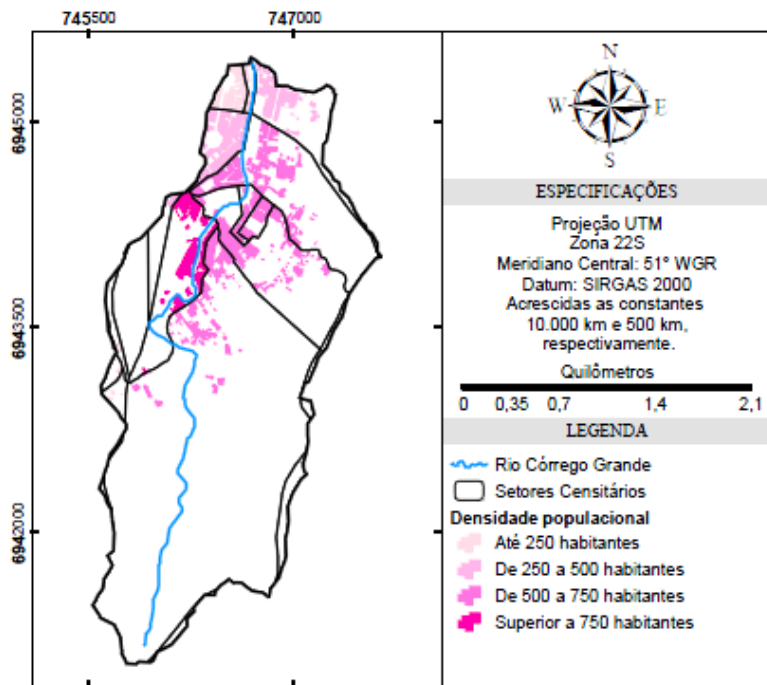


Fonte: Elaborado por autor, 2014.

A bacia hidrográfica possui duas formas de ocupação distintas, tendo em sua porção baixa uma ocupação urbana acentuada em contraste com a área mais alta da bacia. A região de estudo abrange 19 diferentes setores censitários do IBGE contendo aproximadamente 6.200 habitantes e densidade demográfica de 1152,7 habitantes/km².

A Figura 7 apresenta o mapa dasimétrico elaborado com base nos dados do censo demográfico de 2010. Nele, é possível verificar a distribuição populacional de forma mais realista, onde os valores de população contidos nos setores censitários são apresentados nas áreas urbanizadas da bacia hidrográfica.

Figura 7. Mapa dasimétrico da bacia hidrográfica.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

O Córrego Grande possui sua nascente na cota 374 m e percorre aproximadamente 5,2 quilômetros até o seu exutório, na cota 0,3 m. O exutório da bacia localiza-se na confluência entre o Córrego Grande e outro córrego, vindo a formar o rio Itacorubi que tem sua foz 4,8 quilômetros distante na baía norte da cidade.

Possui trecho considerável inserido em área urbana consolidada e foi retificado em canal de concreto a partir do bueiro da Rua João Pio Duarte Silva, fato que aumenta a velocidade do escoamento, transfere para a jusante da bacia hidrográfica o aumento de vazão e aumenta as chances de inundação no local. O Córrego Grande tem sua qualidade comprometida devido à pressão da ocupação, ligações irregulares e a crescente impermeabilização do solo, fato recorrente nas áreas mais baixas da bacia hidrográfica.

Possui sua nascente no Parque Municipal do Maciço da Costeira, unidade de conservação instituída em 1995 e abriga um importante

manancial para a região, o Poço do Córrego Grande, o qual possui área de contribuição de 1,94 km² e vazão média de captação de 14 l/s.

O clima da região pertence ao grupo subtropical úmido (CFa) da classificação climática de Köppen-Geiger, o que caracteriza forte precipitação anual em todos os meses do ano, a inexistência de estação seca definida e temperatura do ar média superior a 22 °C no mês mais quente do ano.

A precipitação é bastante significativa, apresentando no período avaliado de 87 anos (1917 a 2004), a média mensal de 115,20 mm/mês e 1569,1 mm/ano, não existindo estação seca, e no verão geralmente são registrados os maiores índices pluviométricos. A umidade relativa do ar é alta, com média mensal em torno de 82%. O valor médio da insolação é de 2037,5 horas, representando 46% do total possível e a taxa média anual de evaporação são de 1050,3 mm/ano (DUTRA, 1988 apud VIEIRA, 2007).

O bairro do Córrego Grande sofreu grandes modificações em sua tipologia e morfologia urbana e ambiental nos últimos 15 anos, transformando-se de um bairro de baixa densidade para um bairro de densidade médio-alta. Já os outros bairros mantêm a mesma tipologia de 1960, quando foram criados, com ocupação dispersa e de baixa densidade (MORAIS; CLARO, 2012). Entretanto, as inundações já causam transtornos desde o início da década de 1980, havendo registro da ocorrência na Rua João Pio Duarte em 1981, e desde então até os dias atuais as inundações se fazem presentes em episódios de intensas precipitações.

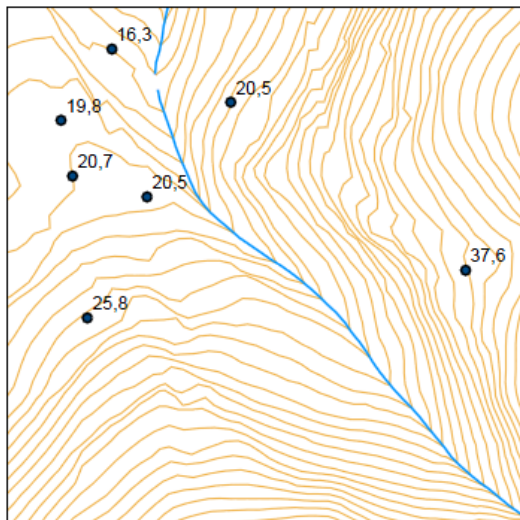
A região abriga importantes equipamentos públicos, como escola municipal, posto de saúde, conselhos comunitários e associações de moradores, subestação da CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), estação de tratamento de esgoto da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento) e parte do campus da Universidade Federal de Santa Catarina, o que transforma as inundações em causas ainda mais preocupantes.

4.2. BASE CARTOGRÁFICA

O material utilizado como base cartográfica é composto por 58 cartas digitais planialtimétricas que abrangem a porção central da ilha de Santa Catarina. O levantamento foi realizado em escala 1:2.000 e possui curvas de nível mestras e secundárias, intervaladas em um metro, assim como o sistema vário, hidrografia e edificações.

Para o presente estudo foi necessário o uso de 14 cartas articuladas, as quais abrangiam a área de interesse. Aproveitou-se as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia assim como apresentados na Figura 8.

Figura 8. Base cartográfica utilizada.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Este material foi concedido pelo IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis e elaborado através de um levantamento aerofotogramétrico realizado pela empresa AEROCONSULT no ano de 2004.

4.3. IMAGENS DE SATÉLITE

Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto, constrói-se a possibilidade da elaboração de mapas temáticos que mostram o ambiente e a sua transformação, destacando-se o impacto das atividades causadas pelo homem. Existe uma grande limitação em relação ao uso das técnicas de sensoriamento remoto devido aos custos de imagens com resolução espacial alta, ou seja, a alta capacidade de distinção de um alvo. No entanto, após a disponibilização de imagens de alta resolução espacial por meio da interface do software *Google Earth*, é possível a elaboração de mapas com grande precisão e detalhamento.

No presente estudo foram utilizadas imagens de satélite datadas em novembro de 2009, dado que este é o ano mais recente em que a área de estudo possui um mosaico de imagens registradas no mesmo mês e ano.

A obtenção da imagem foi facilitada através do uso do *software Easy Google Maps Downloader*, no qual é possível obter a imagem em alta escala através do fracionamento da mesma. Para o presente estudo, obteve-se imagens com escala aproximada de 1:2.500.

Figura 9. Imagem de satélite utilizada em escala 1:3.000.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Lopes (2009) recomenda que para a utilização de imagens do *Google Earth* faz-se necessário o levantamento de pontos de controle na área de estudo com equipamentos GNSS, os quais permitem a correção e conferem confiabilidade para os dados do mapeamento. Ainda, faz-se necessário a análise de precisão da imagem, pois as mesmas podem ser modificadas pela equipe *Google Earth* sem notificação ao usuário.

4.4. SOFTWARES

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se quatro diferentes softwares.

- AutoCAD foi utilizado na preparação e correção da base cartográfica;
- Global Mapper foi utilizado para a conversão dos dados disponíveis em plataforma CAD para arquivos de extensão *shapefile* para SIG;
- ArcGIS para o georrefenciamento da imagem de satélite, manipulação dos dados governamentais disponíveis, elaboração dos mapas temáticos, do modelo digital do terreno, cálculo dos parâmetros morfométricos e aplicação da rotina para criação do mapa de áreas suscetíveis a inundações.
- Easy Google Maps Downloader para obtenção de imagens do *software* Google Earth.

4.5. PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS

Foi realizado um pré-processamento das 14 cartas planialtimétricas a serem utilizadas, com o objetivo de corrigir e preparar os dados para posterior inserção em ambiente SIG. Separaram-se as curvas mestras e médias, os pontos cotados e a hidrografia de cada uma das cartas que posteriormente foram agregadas em um único arquivo, assim, exportaram-se os dados através do software Global Mapper para a extensão *shapefile* do ArcMAP.

A etapa de pré-processamento da imagem de satélite é dada pelo georreferenciamento da imagem de satélite. O georreferenciamento consiste na inserção de pontos de controle na imagem com coordenadas conhecidas e na execução de uma transformação polinomial das coordenadas. Para realizar a correção da posição da imagem, utilizou-se como pontos de controle dados obtidos do levantamento topográfica fornecido pelo IPUF, como a delimitação de esquinas e limites das edificações. Os pontos foram distribuídos de modo homogêneo pela imagem, com intuito de garantir o menor erro possível na correção geométrica.

4.6. MODELO DIGITAL DO TERRENO

Um MDT (Modelo Digital do Terreno) é a representação das feições reais ou hipotéticas em um espaço tridimensional, sendo criados através de uma série de algoritmos que representam as informações dos pontos, linhas e polígonos e as convertem em uma superfície digital em três dimensões. Os modelos digitais de terreno são a representação da superfície do terreno com fidelidade, diferentemente dos modelos digitais de elevação, os quais representam a superfície foto detectada através de restituições fotogramétricas.

Com a base cartográfica preparada em escala 1:2.000, será criado o MDT em formato *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) a partir da ferramenta *Create TIN*, sendo utilizados tanto os pontos cotados como as curvas de nível.

O TIN é uma maneira muito eficiente de representar superfícies contínuas através de uma série de triângulos conectados, sendo útil para representar as elevações e a modelagem do terreno, frequentemente muito utilizadas em aplicações de engenharia especialmente quando estas superfícies possuem altitudes com grande variação e quebras de superfície (ESRI, 2013).

O método de interpolação utilizado para a construção do TIN por meio do software ArcGIS é conhecido como Triangulação de Delauney, que é baseado na seguinte regra: cada vértice é conectado ao seu vizinho mais próximo, sempre atendendo a lógica de que um círculo desenhado entre os três vértices do triângulo não contenha um vértice de outro triângulo.

Como os três vértices de um triângulo definem um plano, este procedimento equivale a imaginar que o relevo varia linearmente entre dois pontos cotados conhecidos, o que é suficiente para a maioria das aplicações. Se o grau de aproximação obtido não for satisfatório, pode-se densificar a malha de triângulos, introduzindo novos pontos.

O valor de qualquer ponto inserido dentro da superfície pode ser estimado através de interpoladores. A Figura 10 apresenta o TIN elaborado para a área de estudo, com a sobreposição do Córrego Grande.

Figura 10. TIN da área de estudo.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

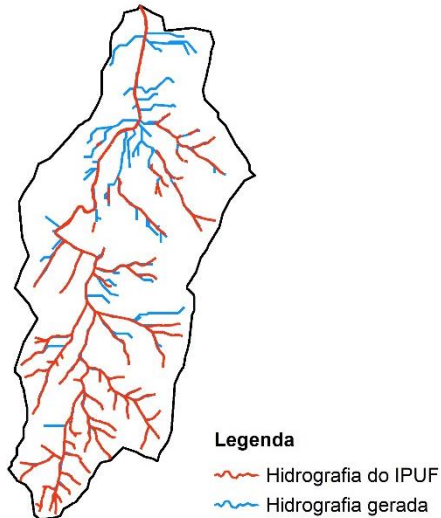
4.7. DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA E EXTRAÇÃO DA DRENAGEM

O conhecimento preciso da rede de drenagem é de suma importância na definição da área da bacia a ser estudadas na pesquisa da susceptibilidade à inundações.

Para tanto, utilizou-se as ferramentas de análise espacial de hidrologia do software ArcGIS para a delimitação e extração automática da rede de drenagem através do MDT. Essa extensão permite determinar a direção do fluxo, calcular o acúmulo de fluxo, delinear bacias hidrográficas e criar redes de drenagem.

A delimitação da bacia hidrográfica gerada foi comparada com a delimitação realizada pelo NEA em 2002. Encontrou-se divergência de 6,56% de área total, ainda, optou-se por utilizar a gerada no presente estudo, devido à qualidade da base de dados utilizada.

Figura 11. Sobreposição das redes de drenagem.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

A drenagem gerada, comparada com a rede de drenagem obtida na base cartográfica (Figura 11) apresenta as seguintes características:

- a) Boa correlação espacial, principalmente nas áreas com relevo mais acentuado.
- b) Densidade maior de drenagem em relação àquelas encontradas no levantamento.
- c) Drenagem inexistente gerada nas partes de relevo suave, próximas ao exutório.

Tais características tornam necessária a edição da drenagem em alguns trechos, tomando como base a imagem de satélite e o levantamento topográfico realizado pelo IPUF para o ajuste.

4.8. ANÁLISE MORFOMÉTRICA

Para os parâmetros já descritos no item 3.1.1 e apresentados no Quadro 1, a análise será realizada através de técnicas de geoprocessamento, utilizando-se o modelo digital do terreno como base para a execução das rotinas.

Quanto as características da rede de drenagem, a análise será realizada tomando como base a hidrografia extraída de modo automático do modelo digital do terreno, com as devidas correções.

Quadro 1. Características morfométricas da bacia.

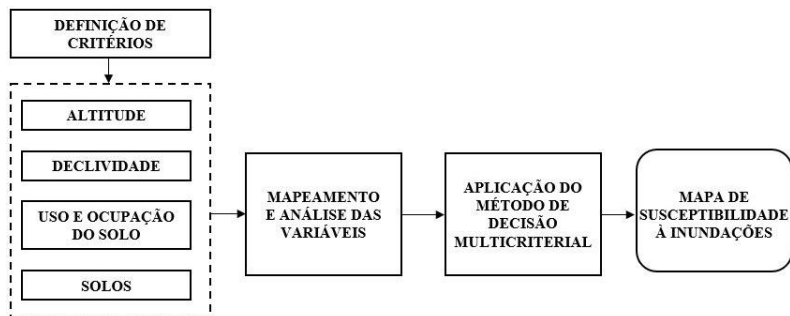
Características morfométricas	Parâmetro
Características geométricas	Área de drenagem (A)
	Perímetro (P)
	Coefficiente de compacidade (K_c)
	Índice de circularidade (I_c)
	Fator de forma (F)
Características da rede de drenagem	Ordem dos cursos da água
	Densidade de drenagem (D_d)
	Índice de Sinuosidade (S)
Características do relevo	Declividade média da bacia
	Altitude média da bacia
	Declividade do curso de água principal (S_1 , S_2 e S_3)

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

4.9. MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÕES PELO MÉTODO AHP

Para a elaboração do diagnóstico das áreas mais suscetíveis à inundações, um fluxograma metodológico foi idealizado, contemplando 3 etapas (Figura 12).

Figura 12. Fluxograma da metodologia aplicada.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

De modo a obter o grau de relevância e os pesos de cada critério analisado recorreu-se a metodologia proposta por Saaty (1990), de acordo com a estruturação da hierarquia de decisão, construção da matriz de comparação pareada, priorização das alternativas e definição das classes de susceptibilidade.

4.9.1. Definição dos critérios e justificativas

Santos (2010) cita que os fatores determinados como importantes e que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma enchente, independentemente da precipitação incidente são: altitude, declividade, uso da terra e tipo do solo.

4.9.1.1. Altitude

A altitude contribui para as inundações de modo que, quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da lei de gravidade que direciona o escoamento para as regiões mais baixas. Assim, as regiões mais baixas da bacia hidrográfica possuem uma tendência maior a sofrer com inundações.

4.9.1.2. Declividade

A declividade além de influenciar na velocidade de escoamento da água, interfere na capacidade de armazenamento de água sobre este, sendo

as áreas mais declivosas geralmente com menor capacidade de armazenamento superficial do que as mais planas.

4.9.1.3. Uso e ocupação do solo

O modo de uso e ocupação do solo altera as características de permeabilidade da bacia hidrográfica, sendo fator preponderante no fenômeno da infiltração da água, pois o seu fluxo para baixo depende primordialmente deste fator. Em bacias urbanas, onde a cobertura é alterada (a simples remoção da cobertura vegetal já torna a bacia mais impermeável) e a rede de drenagem é mais eficiente, a ocorrência do escoamento superficial é antecipada: tem-se, assim, um aumento do volume do escoamento superficial e da vazão de pico. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o hidrograma comparando a resposta de bacias rurais e urbanas.

4.9.1.4. Solos

Da água que atinge a superfície do solo, parte é retida nas depressões do terreno, parte se infiltra e o restante escoar pela superfície do terreno. O escoamento da água que atinge a superfície do terreno acontece, portanto, após a intensidade da precipitação superar a capacidade de infiltração do solo e depois de serem preenchidas as depressões armazenadoras da superfície (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

O tipo do solo reflete diretamente na taxa de infiltração da água na superfície e na capacidade de retenção de água, dependendo de variáveis como a porosidade e compactação características do solo, onde diferentes tipos de solo possuem diferente capacidade, o que resulta em um aumento no escoamento superficial se o mesmo não possuir boa capacidade de infiltração (MAGALHÃES et al., 2011).

A capacidade de infiltração é uma das medidas de infiltração do solo e depende direta e indiretamente da temperatura da água e da condição de contorno, qual seja, a profundidade do solo (VILLELA; MATTOS, 1975).

4.9.2. Mapeamento e análise das variáveis

Essa seção apresenta a metodologia utilizada para o mapeamento das variáveis que contribuem para a ocorrência das inundações, assim como sua divisão em classes.

Portanto, foram elaborados os mapas temáticos para as variáveis propostas tomando como base as metodologias descritas abaixo. Ainda, foram atribuídos pesos para cada classe das variáveis selecionadas em uma escala de 1 até 10, onde 10 é o valor com maior influência quanto às inundações e 1, o menor valor.

4.9.2.1. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico é a interpretação gráfica do relevo de uma bacia e representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar.

O mapa foi obtido através da rasterização do MDT e posterior reclassificação, onde as classes altimétricas foram separadas em um intervalo de 50 metros, totalizando 9 classes. Os pesos atribuídos as classes de altitude foram aplicados conforme o Tabela 3.

Tabela 3. Pesos do mapa hipsométrico.

Classe (m)	Peso atribuído
0 a 50	10
50 a 100	9
100 a 150	8
150 a 200	7
200 a 250	6
250 a 300	5
300 a 350	4
350 a 400	3
400 a 443	1

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

4.9.2.2. Mapa de declividades

A declividade é a medida do grau de inclinação de um objeto em relação a um plano horizontal, podendo ser expresso em porcentagem ou em graus. O mapa consiste na representação das diferentes declividades encontradas na área de estudo e foi obtido através da extração das declividades a partir do *raster* gerado do MDT por meio da função *slope*,

sendo assim possível discriminar as classes de declividades de acordo com EMBRAPA (1979), especificadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de declividade.

Declividade (%)	Discriminação
0 a 3	Relevo plano
3 a 8	Relevo suavemente ondulado
8 a 20	Relevo ondulado
20 a 45	Relevo fortemente ondulado
45 a 75	Relevo montanhoso
Maiores que 75	Relevo fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA, 1979.

Os pesos atribuídos para as diferentes classes de declividade estão representados na Tabela 5.

Tabela 5. Pesos do mapa de declividades.

Classe	Peso atribuído
Relevo plano	10
Relevo suavemente ondulado	8
Relevo ondulado	5
Relevo fortemente ondulado	3
Relevo montanhoso	2
Relevo fortemente montanhoso	1

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

4.9.2.3. Mapa de uso e ocupação do solo

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo, foi realizada a restituição fotogramétrica digital através da classificação manual na escala 1:3.000.

De acordo com o Tutorial de Geoprocessamento do DPI/INPE - Divisão de Processamento de Imagens, Brasil (2006), a classificação consiste no processo de extração de informações de imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Desta forma, a classificação manual é dada através

do reconhecimento destes padrões pelo restituidor, baseada diretamente no conhecimento do analista dos alvos mapeados.

Foram consideradas as classes de uso e ocupação de solo conforme o seu nível de impermeabilização, através de uma adaptação da tabela dos valores de CN para bacias urbanas e suburbanas, proposta por Tucci (2000, p. 406).

As classes de uso e ocupação do solo foram agrupadas nas seguintes categorias temáticas: a) Espaços abertos e parques; b) Florestas; c) Lotes menores que 500 m²; d) Lotes maiores que 500 m²; Condomínios verticais; e) Pavimento e f) Corpos d'água.

Para a classe c) Lotes menores que 500 m², atentou-se ao fato da porcentagem média impermeável do lote ser superior a 50%.

Tomando-se como base os valores de CN (*Curve Number*), parâmetro que retrata as condições de cobertura do solo, variando desde uma cobertura muito impermeável até uma cobertura completamente permeável (TUCCI, 2000), desta forma, foram atribuídos os pesos para as diferentes classes de uso e ocupação do solo, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Pesos do mapa de uso e ocupação.

Classe	Peso atribuído
Corpos d'Água	10
Pavimento	9
Condomínios verticais	8
Lotes menores que 500 m ²	7
Lotes maiores que 500 m ²	6
Espaços abertos e parques	4
Florestas	2

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

4.9.2.4. Mapa pedológico

O mapa pedológico consiste na representação das diferentes classes de solo que ocorrem na área de estudo.

Para a elaboração deste mapa temático utilizou-se como base o mapa pedológico da porção central da Ilha de Santa Catarina elaborado por Herrmann (1989) em escala 1:25.000, para o qual foi realizada a vetorização de cada classe de solo na área de estudo. O levantamento das classes de solo

por Herrmann consistiu em trabalhos de campo e interpretação das amostras coletadas de diversos perfis.

Na porção individualizada para o presente estudo, foram identificadas cinco diferentes classes: Solos Podzólicos Vermelho-Amarelo (PV), Solos Cambissolos (C), Solos Litólicos (R), Areias Quartzosas (AQ) e a associação de Solos Cambissolos com Podzólicos Vermelho-Amarelo (C+PV).

O tipo de solo e o estado de compactação da camada superficial têm importante efeito sobre a parcela da água de infiltração. Solos arenosos propiciam maior infiltração e percolação, e reduzem o escoamento superficial, por outro lado, os solos siltosos ou argilosos, bem como os solos compactados superficialmente, produzem maior escoamento superficial (BARBOSA JÚNIOR, 2014).

Os pesos de cada classe de solo foram aplicados conforme Tabela 7.

Tabela 7. Pesos do mapa pedológico.

Classe	Peso atribuído
Solos Podzólicos Vermelho-Amarelo	4
Solos Cambissolos	6
Solos Litólicos	10
Areias Quartzosas	1
Associação Solos Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelo	5

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

4.9.3. Aplicação do método de decisão multicriterial

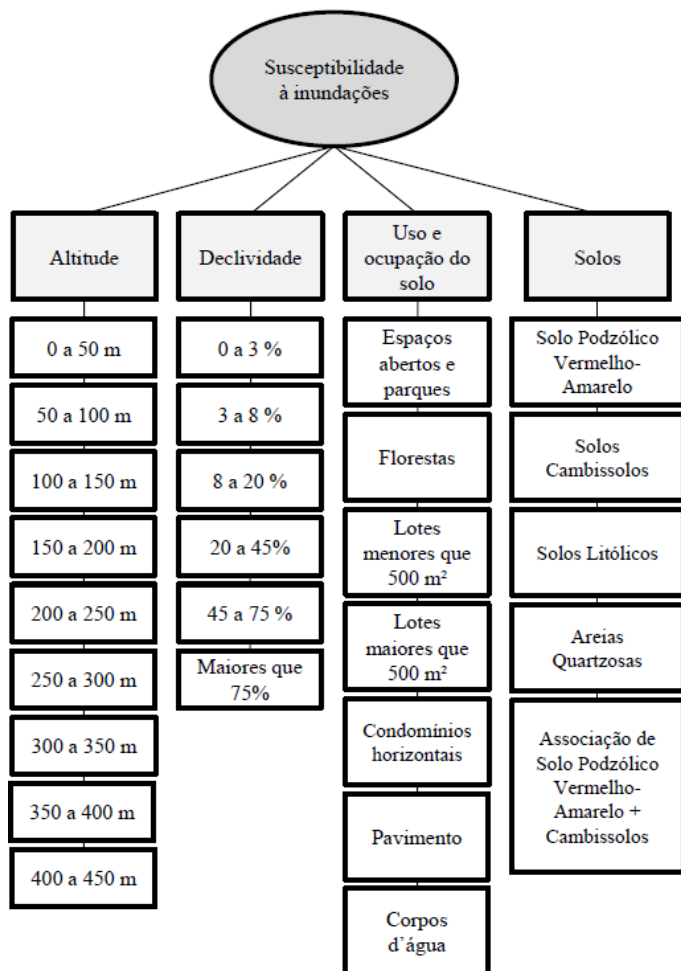
O mapa de susceptibilidade à inundações será o produto do cruzamento espacial das quatro variáveis representadas nos mapas temáticos elaborados e envolverá duas fases distintas de trabalho, a fase teórica, na qual serão definidos os critérios de cruzamento, e a fase operacional, onde será realizado o cruzamento dos mapas temáticos a partir da ferramenta de álgebra de mapas do ArcGIS.

4.9.3.1. Fase teórica

A primeira etapa consiste em estruturar o problema de forma hierárquica. Na parte superior está localizado o objetivo e resultado do estudo, no nível imediatamente inferior constam os critérios escolhidos para

o estudo, e abaixo, os subcritérios que são a classificação de cada critério analisado. A estrutura hierárquica do problema é apresentada na Figura 13 na página a seguir.

Figura 13. Estrutura do problema hierarquizada.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

De modo a definir a importância relativa dos critérios no que tange à susceptibilidade à inundações, realizou-se a comparação dois-a-dois dos

critérios utilizando a escala proposta já apresentada na Tabela 1, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre outro.

Santos, Louzada e Eugenio (2010) citam que a fase de atribuição dos valores, com base na escala de comparadores, é considerada um dos momentos mais importantes durante processo de confecção dos mapas de inundação, já que os valores de importância atribuídos a um fator interferiram diretamente no resultado obtido.

Após o julgamento dos elementos, temos a matriz de comparação.

Tabela 8. Matriz de comparação pareada.

Critério	Altitude	Declividade	Uso e ocupação do solo	Solos
Altitude	1,00	1/4	1/2	3,00
Declividade	4,00	1,00	3,00	7,00
Uso e ocupação do solo	2,00	1/3	1,00	5,00
Solos	1/3	0,14	1/5	1,00

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

A matriz é interpretada da seguinte forma, toma-se como exemplo a comparação da variável declividade com uso e ocupação do solo. A declividade de acordo com Tabela 1 mostra ter uma importância pequena sobre o uso e ocupação do solo.

Essas comparações por pares fornecem pesos para cada alternativa, dentro de cada critério, após comparações recíprocas. Esses pesos são obtidos por meio do cálculo do auto vetor principal de cada matriz quadrada, e estão representados na Tabela 9. Quanto à ordem de importância das variáveis, obteve-se em primeiro lugar a declividade (56%), seguido por altitude (26%), uso e ocupação do solo (12%) e solos (6%).

Tabela 9. Pesos para elaboração do mapa de susceptibilidade.

Variáveis	Peso da classe	Variável
Altitude	0,14	X ₁
Declividade	0,56	X ₂
Uso e ocupação do solo	0,25	X ₃
Solos	0,06	X ₄

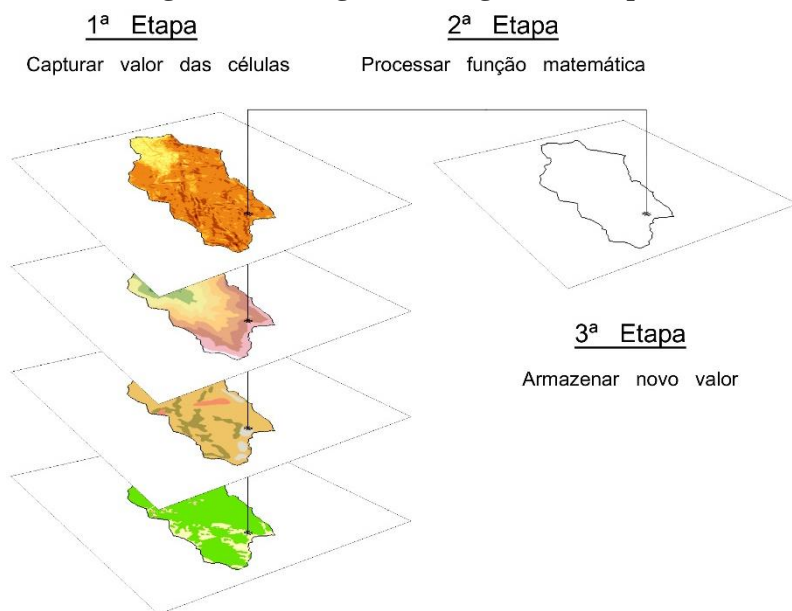
Fonte: Elaborado por autor, 2014.

A partir da escolha dos pesos dos critérios para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundações o método AHP fornece uma razão de consistência, a qual deve ser inferior a 0,10. A razão de consistência obtida foi de 0,03, atestando a coerência na hierarquização dos dados analisados.

4.9.3.2. Fase operacional

Após a definição dos pesos, procedeu-se a álgebra de mapas para a geração do mapa de susceptibilidade à inundações através do processo apresentado na Figura 14. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator* do *software* ArcGIS.

Figura 14. Fluxograma da álgebra de mapas.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

A primeira etapa consiste na captura dos valores das células contida no arquivo *raster* referente as classes dos mapas temáticos. Na segunda etapa, esses valores são processados algebricamente tomando como base a equação abaixo, em que x_1 , x_2 , x_3 e x_4 serão os pesos estatísticos obtidos previamente.

$$SI = x_1 \text{Uso e ocupação} + x_2 \text{Declividade} + x_3 \text{Hipsometria} + x_4 \text{Pedologia}$$

onde: *SI* é a Susceptibilidade à inundações.

Por fim, na terceira etapa o valor é armazenado em um novo arquivo *raster*, o qual dará origem ao mapa de susceptibilidade à inundações. As novas células contêm valores que variam de 0 a 10, onde os valores mais próximos de 0 são referentes às áreas com menor susceptibilidade à inundações e os valores mais próximos de 10, com maior susceptibilidade à inundações.

Ao final da execução dessa rotina, o mapa será reclassificado em cinco categorias hierárquicas, como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta a susceptibilidade à inundações, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Reordenação das classes de susceptibilidade.

Valores	Classes
0 a 2	Muito baixa
2 a 4	Baixa
4 a 6	Média
6 a 8	Alta
8 a 10	Muito alta

Fonte: Elaborado por autor, 2014.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ANÁLISE DOS FATORES MORFOMÉTRICOS

5.1.1. Características geométricas

Possui área de drenagem e perímetro de 5,38 km² e 11,73 km, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 11. Tonello et al. (2006) citam que tamanho reduzido da bacia infere boas possibilidades de controle dos fatores hidrológicos que ali interferem.

Tabela 11. Características geométricas.

Parâmetro	Valor
Área de drenagem (A)	5,38 km ²
Perímetro (P)	11,73 km
Coefficiente de compacidade (K_c)	1,42
Índice de circularidade (I_c)	0,49
Fator de forma (F)	0,27

Fonte: Elaborado por autor, 2014

Os valores de coeficiente de compacidade (1,42) e fator de forma (0,27) representam que a Bacia Hidrográfica do Córrego Grande possui um formato mais alongado e relativamente estreito, tendo menor concentração na descarga dos tributários, pois estes se dão distribuídos ao longo de vários pontos do rio principal, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia circular na qual a concentração de todo deflúvio é dada em um único ponto.

Segundo Villela e Mattos (1975) as bacias alongadas possuem menor concentração do deflúvio, pois há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensando cobrirem simultaneamente toda a sua extensão. Desde que outros fatores não interfiram, esses valores indicam menor potencialidade de produção de picos de vazão (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

O índice de circularidade (0,49) reafirma que o formato da Bacia Hidrográfica não se assemelha ao de uma circunferência, já que valores afastados da unidade sugerem um formato mais alongado, simultaneamente ao coeficiente de compacidade. Valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (BORSATO, 2005).

5.1.2. Características da rede de drenagem

A Bacia Hidrográfica do Córrego Grande é de 4ª ordem, indicando uma grande ramificação, o que resulta em maior rapidez para o escoamento atingir a foz.

Tabela 12. Características da rede de drenagem.

Parâmetro	Valor
Ordem dos cursos da água	4ª ordem
Densidade de drenagem (D_d)	4,062 km/km ²
Índice de Sinuosidade (S)	1,19

Fonte: Elaborado por autor, 2014

O comprimento do canal principal é de 5,2 km e a rede de drenagem possui 21,8 km de extensão, resultando em uma densidade de drenagem de 4,01 km/km², considerada uma bacia excepcionalmente bem drenada por Villela e Mattos (1975).

Ao analisar a distribuição espacial dos afluentes do rio Córrego grande, nota-se que ela é dada em sua totalidade nos trechos anteriores à retificação do rio, à vista disso, a densidade de drenagem para este trecho seria elevada consideravelmente.

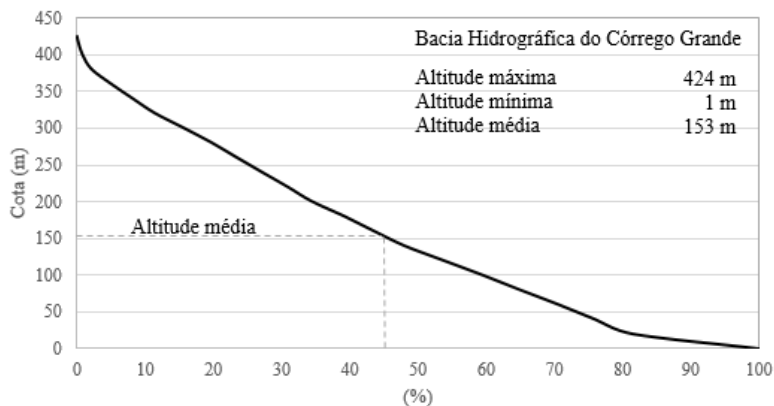
Este índice indica a eficiência da drenagem na bacia; ou seja, quanto mais eficiente o sistema de drenagem, isto é, quanto maior a densidade de drenagem da bacia, mais rapidamente a água do escoamento superficial originada pela chuva chegará à saída da bacia. Disto resulta, consequentemente, em hidrogramas com picos maiores e em instantes mais curtos (PORTO; FILHO, 1999).

O rio possui um trecho de aproximadamente 1 quilômetro retificado, equivalente a 18,5% em extensão do total, consequentemente o índice de sinuosidade sugere um canal principal retilíneo, o que favorece o transporte de sedimentos para o exutório da bacia, além de deixar de ser um fator controlador da velocidade do escoamento na bacia (VILLELA; MATTOS, 1975).

5.1.3. Características do relevo

A Figura 15 mostra que a bacia possui altitude máxima de 424 metros e mínima de 1 metro no exutório, sendo a altitude média de 153 metros.

Figura 15. Curva hipsométrica da Bacia Hidrográfica.



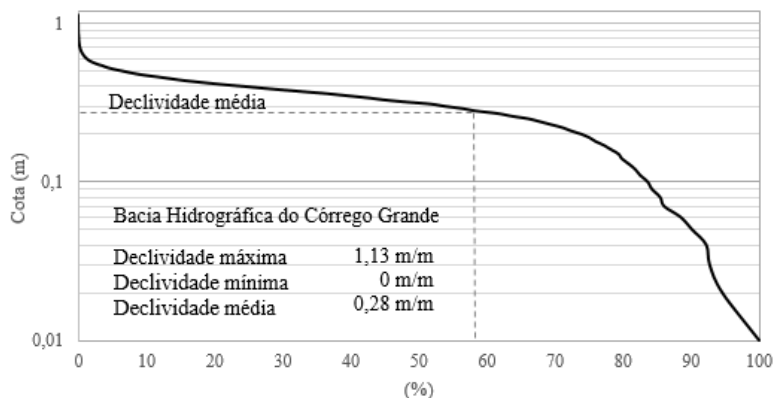
Fonte: Elaborado por autor, 2014.

A altitude influencia no escoamento superficial através da quantidade radiação que a mesma recebe, e consequentemente, influencia a evapotranspiração, temperatura e precipitação.

Conforme pode ser observado na Figura 16, com os dados analisados obteve-se uma declividade média de 0,28 m/m ou 28%, mostrando que a bacia possui em média uma declividade acentuada, o que resulta em maior susceptibilidade para erosão dos solos e menor oportunidade de infiltração.

Foi encontrado como declividade máxima o valor de 1,13 m/m, equivalente a uma inclinação superior a 45°.

Figura 16. Curva de declividades da Bacia Hidrográfica.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

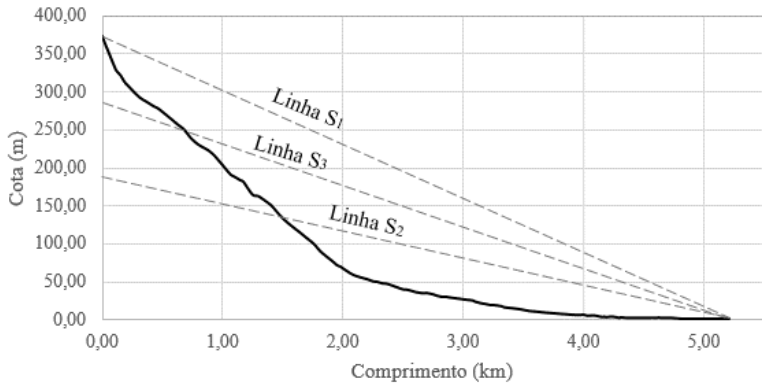
Linsley et al. (1975) apontam a declividade como um dos principais fatores que determinam o escoamento superficial em bacias pequenas. A declividade acentuada afeta o tempo em que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem da bacia, o que resulta em um aumento dos picos de enchente devido à alta velocidade do escoamento.

A declividade do curso d'água principal calculada com base nos extremos (S_1) apresentou um valor de 0,072 m/m e como esperado, expressou um valor que superestima a declividade média do curso da água, e consequentemente, o pico de cheia.

Foram obtidos para a declividade ponderada (S_2) e declividade equivalente constante (S_3) os valores de 0,034 m/m e 0,054 m/m respectivamente, sendo estes mais representativos da declividade média.

A Figura 17 apresenta perfil longitudinal do Córrego Grande e as linhas das declividades calculadas.

Figura 17. Perfil longitudinal do Córrego Grande.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

O valor de S_3 apresenta a ideia do tempo de percurso da água ao longo do perfil longitudinal, e juntamente ao índice de sinuosidade, infere-se que a velocidade do fluxo de água no canal principal é relativamente alta.

5.2. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS

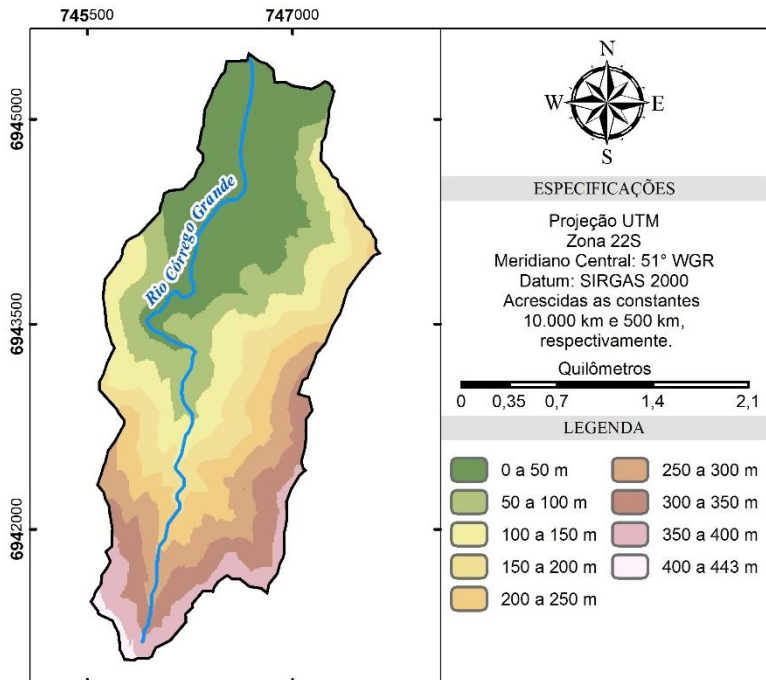
A análise dos mapas temáticos preliminares ocorreu como um pré-requisito para a atribuição dos pesos de cada uma das respectivas classes.

Para o mapa hipsométrico, a classe de altitude com maior expressão em área é a de 0 a 50 metros, abrangendo 26,8% do total e coincide com a classe que possui maior relevância quanto a susceptibilidade à inundações.

As classes de 50 a 100 metros e 100 a 150 metros abrangem 13,8% e 13,9% do total, enquanto as demais classes decrescem até a classe superior a 400 metros respectivamente, a qual abrange somente 0,7% em área da bacia hidrográfica

A Figura 18 apresenta o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica com a devida distribuição das classes.

Figura 18. Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

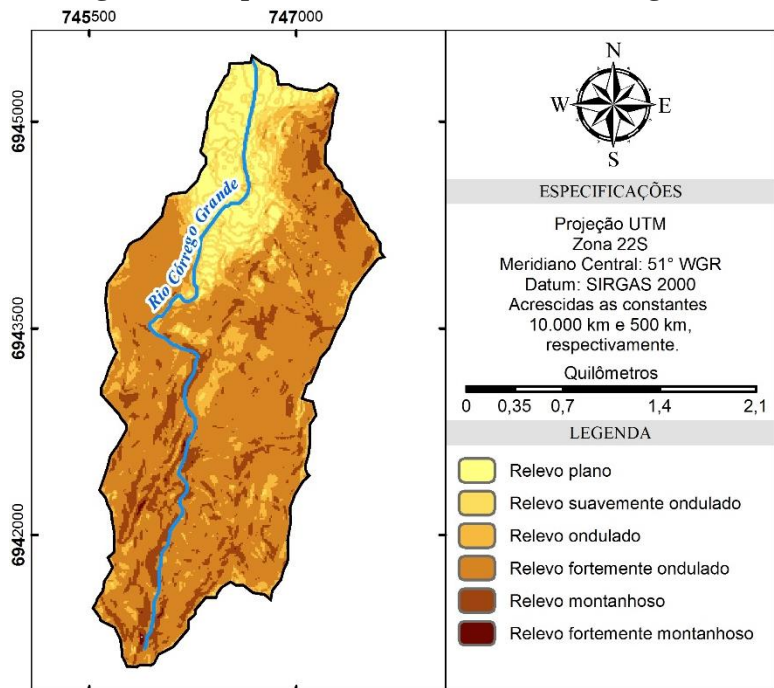
A Figura 19 mostra a predominância do relevo fortemente ondulado, classe à qual abrange 61,0% do total, estando em acordo com a declividade média da bacia (28%).

As áreas de relevo plano totalizam 41,4 hectares, referentes a 7,7% do total e coincidem em sua grande maioria com a parte mais baixa da bacia hidrográfica. As classes de relevo suavemente ondulado e ondulado totalizam 7,9% e 11,8% em área, respectivamente.

Já as variáveis com menor peso, como as classes de relevo montanhoso e fortemente montanhoso enquadram 11,6% do total, tendo a última contribuído somente com 0,1%.

Entende-se que a variável declividade possui a maior influência quanto à susceptibilidade à inundações, sendo assim um cenário prévio das áreas mais suscetíveis.

Figura 19. Mapa de declividades da Bacia Hidrográfica.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Para a variável uso e ocupação do solo, conforme apresentado na Figura 21, a classe com maior representatividade é a de florestas com cerca de 69% de área total da bacia hidrográfica. A classe espaços abertos e parques abrangem 15,2% e está localizada em sua grande maioria na parte alta da bacia hidrográfica, nos topos de morros.

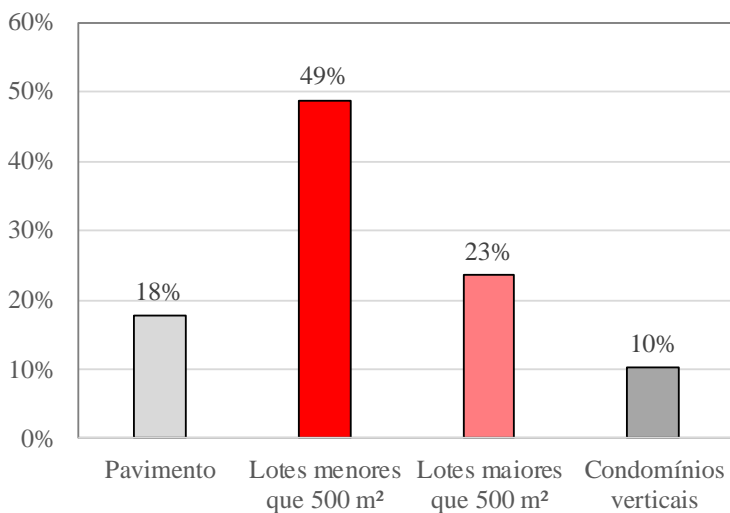
Embora a bacia possua uma urbanização acentuada, existe uma área expressiva de floresta preservada, o que se deve ao fato de que grande parte da bacia hidrográfica encontra-se em área de preservação permanente conforme as legislações vigentes.

Aproximadamente 81 hectares da bacia hidrográfica encontram-se alterada, o que abrange as classes pavimento, lotes menores que 500 m², lotes maiores que 500 m² e condomínios verticais do mapa de uso e ocupação do solo.

Das áreas urbanizadas, os lotes menores que 500 m² possuem maior expressão, totalizando 49% em área, seguido dos lotes maiores que 500 m²,

áreas pavimentadas e condomínio verticais, com 23, 18 e 10% cada classe respectivamente, conforme pode ser visualizado na Figura 20.

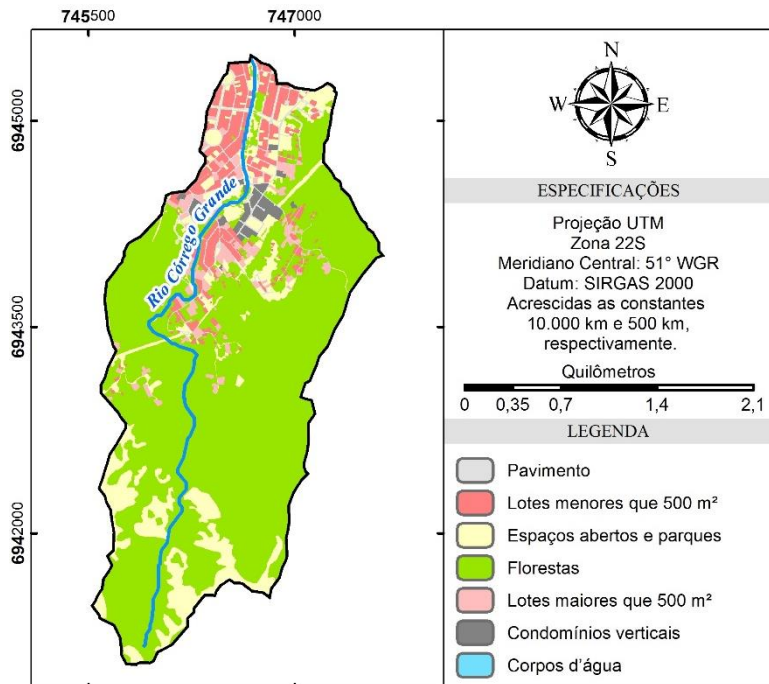
Figura 20. Classes de urbanização da Bacia Hidrográfica.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Sabe-se que as classes com maior nível de impermeabilização contribuem altamente para a ocorrência das inundações, e estas encontram-se nas regiões mais críticas já verificadas dos mapas de hipsometria e de declividades, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21. Mapa de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica.



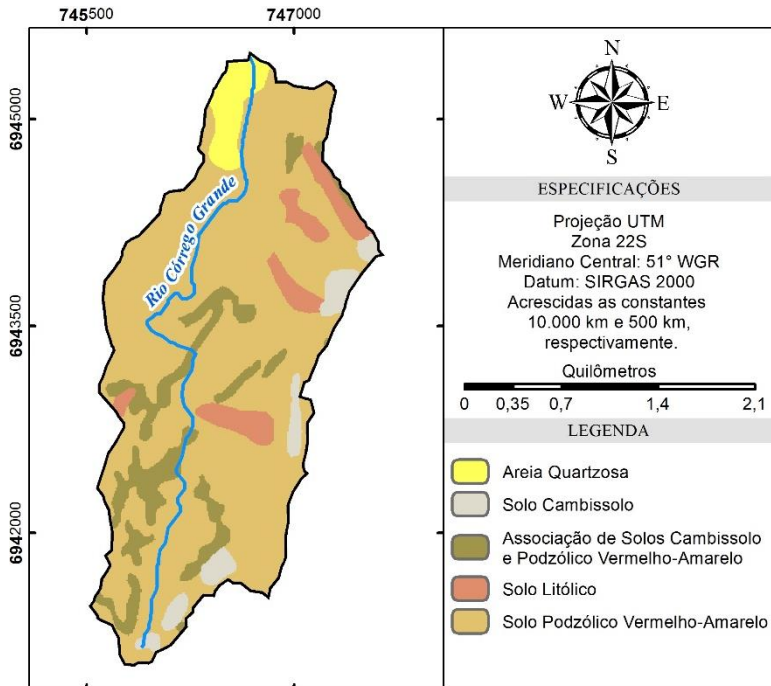
Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Para a variável de solos, a classe de solo podzólico vermelho-amarelo predomina, abrangendo aproximadamente 75% da área total, seguido da associação de solos cambissolo e podzólico vermelho-amarelo (11,2%), solos litólicos (6,2%), solos cambissolo (4,2%), conforme pode ser visualizado na Figura 22.

Com a menor influência quanto às inundações, a classe de solos areia quartzosa abrange uma pequena área (19,4 ha) equivalente a 3,6% em área da bacia hidrográfica, situada na região baixa da bacia hidrográfica.

A classe com maior potencial de contribuição para a ocorrência das inundações encontra-se usualmente nos topos de morro, regiões onde as demais variáveis praticamente anulam a possibilidade da ocorrência.

Figura 22. Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica.



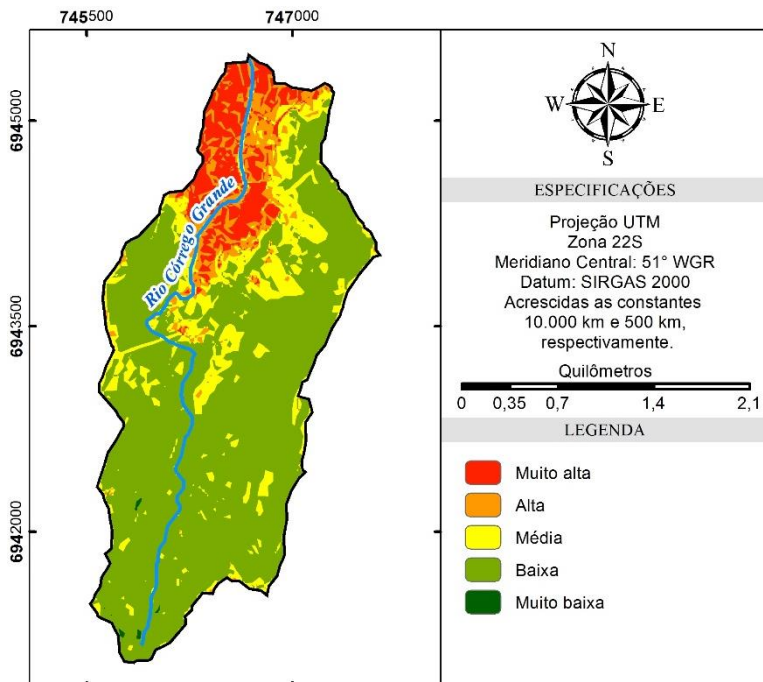
Fonte: Adaptado de Herrmann, 1989.

Como a variável tipo de solo possui a menor contribuição para a susceptibilidade à inundações na bacia hidrográfica, as diferentes classes pouco contribuirão para a diferenciação das classes hierárquicas.

5.3. MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS

O mapa de áreas suscetíveis à inundações foi dividido em cinco classes. A Figura 23 apresenta o mapa de susceptibilidade à inundações da bacia hidrográfica.

Figura 23. Mapa de susceptibilidade à inundações.

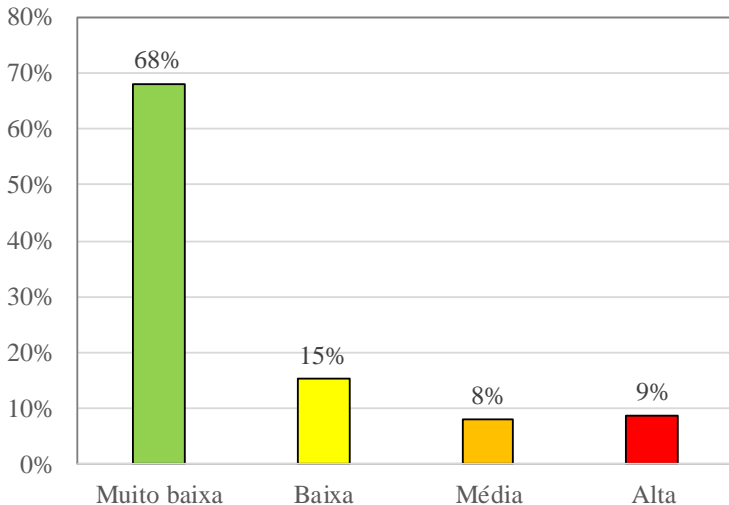


Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Analisando-se os dados obtidos, a área de estudo apresenta em sua maior parte (68%) uma baixa susceptibilidade à inundações. Áreas com susceptibilidade média à inundações abrangem 15% da área, enquanto as áreas com susceptibilidade alta e muito alta correspondem a 9 e 8% respectivamente.

A classe de susceptibilidade muito baixa possui pequena significância, abrangendo apenas 0,7 hectares, equivalente a menos de 1% em área total da bacia. A Figura 24 apresenta a distribuição das classes de susceptibilidade.

Figura 24. Abrangência das classes de susceptibilidade.



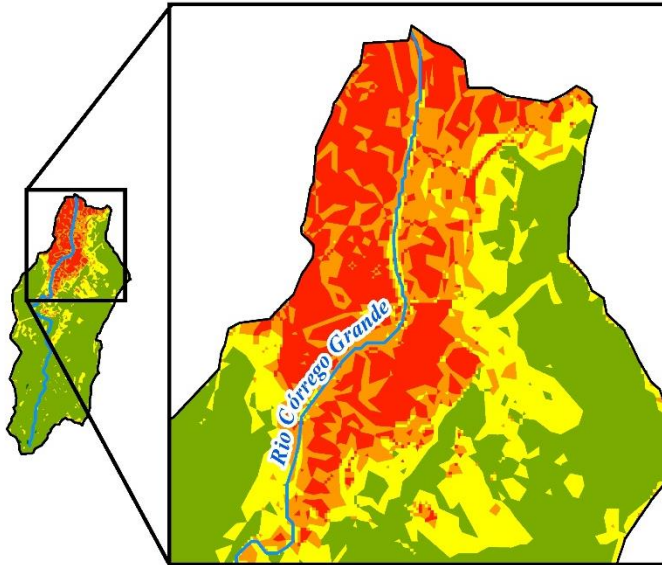
Fonte: Elaborado por autor, 2014.

De acordo com o mapa de susceptibilidade à inundações, as áreas com maior susceptibilidade são mais amplas na parte norte da bacia hidrográfica em um raio de quatrocentos metros do Córrego Grande. Porém, nota-se inconsistência na avaliação, pois existem áreas adjacentes ao rio com classe de susceptibilidade menor do que áreas imediatamente conectadas às mesmas, conforme apresentado na Figura 25.

A classe de susceptibilidade muito alta tem predomínio de altitude variando de 0 a 50 metros (99%), relevo plano (76%), áreas urbanizadas (78%, sendo 39% lotes menores que 500 m²) e solos podzólicos vermelho-amarelo (69%), sendo as três primeiras as classes com maior peso quanto a susceptibilidade à inundações.

Já para a classe de susceptibilidade alta, predominam altitudes variando de 0 a 50 metros (92%), relevo suavemente ondulado (68%), áreas urbanizadas (54%, sendo 35% lotes menores que 500 m²) e solos podzólicos vermelho-amarelo (39%).

Figura 25. Região de maior susceptibilidade.



Fonte: Elaborado por autor, 2014.

Observa-se que as classes de muito alta e alta susceptibilidade contém aproximadamente 70% das unidades habitacionais presentes na bacia hidrográfica, sendo uma informação interessante pois podem ser tomadas como foco para medidas preventivas de diminuição deste risco.

Nota-se que a declividade foi fator determinante para a separação das classes de susceptibilidade muito alta e alta, onde predominam tipos de relevo diferente e as demais classes permanecem as mesmas.

Para a classe de susceptibilidade média, a altitude predominante ainda é a de 0 a 50 metros (43%), porém o relevo varia de ondulado (56%) a fortemente ondulado (41%). A classe de uso e ocupação do solo com maior representatividade para esta classe é a de florestas com 47% seguido dos espaços abertos e parques com 27%. Os solos continuam sendo podzólicos vermelho-amarelos com 76% de contribuição. Para esta classe, variáveis com grande representatividade apresentaram valores de peso médios, como o relevo e o uso e ocupação do solo.

A baixa susceptibilidade foi encontrada em áreas predominantemente de florestas com relevo fortemente ondulado, tendo estas classes representado 89 e 81% respectivamente. O solo com maior predominância é

o podzólico vermelho-amarelo (74%) e as altitudes variam de 50 a 350, cada classe tendo pouco mais de 10% de influência.

Nota-se a forte influência das classes de declividade e uso e ocupação do solo para a definição da hierarquia como baixa, enquanto as demais classes não foram decisivas.

A classe de susceptibilidade muito baixa engloba florestas em sua totalidade, solos podzólicos vermelho-amarelo (93%), altitudes superiores a 250 metros e relevo superiores ao fortemente ondulado, tendo o relevo fortemente montanhoso 66% de influência.

A tabela contemplando a contribuição de cada classe para as variáveis selecionadas encontra-se no Apêndice A deste presente documento.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados obtidos neste presente estudo foi possível indicar um quadro inicial da bacia hidrográfica do Córrego Grande, de modo a caracterizar a susceptibilidade à inundações da mesma.

Essencialmente, as características morfométricas expressaram que a bacia é suscetível à ocorrência dos eventos de inundação, uma vez que apresentaram a maneira como se dá o escoamento e infiltração das águas das chuvas, em especial as intensas e concentradas. Em paralelo à isso, o mapa de susceptibilidade à inundações elaborado com base na metodologia do Processo Analítico Hierárquico aponta as áreas mais críticas quanto à susceptibilidade.

Constata-se que a região mais suscetível à inundações encontra-se na região norte da bacia hidrográfica, perto do exutório. Esta área apresenta um relevo plano, urbanização acentuada e baixa amplitude altimétrica, fatores que favorecem a ocorrência de inundações. Ainda, esta região compreende cerca de 70% das unidades habitacionais da bacia hidrográfica.

Em contrapartida, as áreas com baixa susceptibilidade à inundações abrangem 61% da área total da bacia hidrográfica, em locais onde predominam florestas e relevo fortemente ondulado. A amplitude altimétrica e o tipo de solo não foram fatores predominantes para determinar a sua susceptibilidade.

A técnica AHP utilizada para determinação de pesos das classes contribuintes para susceptibilidade à inundações se mostrou eficaz pois reduz e simplifica o problema proposto, o que minimiza os erros de julgamento durante o processo.

O ferramental metodológico aplicado nesta pesquisa é usualmente utilizado em mapeamentos com menor nível de detalhamento, sendo assim, a pesquisa realizada demonstra a necessidade do aprimoramento de técnicas e propostas metodológicas para elaboração dos mapas de susceptibilidade à inundações a partir da inclusão de variáveis aqui não utilizadas, que podem trazer uma melhora nas estimativas das áreas de susceptibilidade à inundações.

Portanto, recomenda-se para a análise espacial de susceptibilidade à inundações de bacias de menor porte, como a bacia hidrográfica do Córrego Grande, a inclusão de uma variável como a distância das margens dos rios, de modo a excluir inconsistências no mapeamento das áreas, como áreas adjacentes aos rios terem menor susceptibilidade do que áreas imediatamente próximas, conforme observado no produto do estudo.

Para futuros trabalhos, recomenda-se também o levantamento de dados primários das áreas inundadas em ocorrências de modo a correlacionar com as áreas mais suscetíveis à inundações levantadas no mapeamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, R.; MCCALPIN, J. Landslide susceptibility maps for the Kingston Metropolitan area, Jamaica with notes on their use. **UDS Publication**, n. 5, 1999, 25 p.

ALVES, J. M. P. e CASTRO, P. T. A. **Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos**. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117- 124, 2003.

AMARAL, R; RIBEIRO, R. R. **Inundações e enchentes**. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. (orgs.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

ANDRADE, S. L de; FERREIRA, V. O; SILVA, M. M. **Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG**. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 24, n. 41, p.1-16, jun. 2014.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. **Caracterização Geomorfológica com apoio de índices morfométricos: O estudo de caso da bacia do rio Guruij. Cadernos do Logepa, João Pessoa, v. 6, n. 1, p.1-14, jul. 2011.**

BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2014. 241 p.

BORSATO, F. H. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR. 2005.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: GUERRA, A.J.T. e VITTE, A. C.. Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed, 2010.

BRASIL, Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas – Manual Operativo, Ministério da Agricultura, Comissão Nacional de Coordenação do PNMH, Brasília, 1987, 60 p.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P.; MARTINS, S.Z. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan**. Revista Árvore, Nova Friburgo, 2006, v. 30, p. 241- 248.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. **Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Scientia plena, v.5, n.2. 2009.

CASTRO, P.; LOPES, J. D. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa, MG: CPT, 2001. 84 p.

CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: Volume Santa Catarina**, 2011. 90 p. Disponível em: <[http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas Santa Catarina.pdf](http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Santa%20Catarina.pdf)>. Acesso em: 03 jul. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. Ed. São Paulo. Edgard Blücher. 1980, 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 240 p.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Drainage Basins and Sediment Transfer. In: Geomorphology in Environmental Management. A New Introduction**. 2nd edition. 409 p, 1990.

CRISTO, S. S. V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis - SC**. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82704>>. Acesso em: 26 jun. 2014.

DEFESA CIVIL NACIONAL. **Manual de Desastres**. Brasília: Ministério do planejamento e orçamento, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS**, 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital**, Paraná. Dissertação (Mestre em Engenharia de recursos hídricos e ambiental) – Setor de tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

ESRI. **Fundamentals of surfaces: TIN**. 2013. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00q80000005z000000>>. Acesso em: 27 ago. 2014

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2.ed. São Paulo/SP: Editora Edgard Blücher, 1988. 291 p.

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M. Consideração sobre as inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005.

GRASSI, J. et al. Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná. In: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 2501-2508. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/> >. Acesso em: 24 nov. 2014.

GUARIZ, H. R. **Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do Córrego Jaqueira-Alegre**, ES. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 275p.

HERRMANN, M. L. P (Org.). **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010**. 2.ed. Florianópolis: IHGSC; GNC/UFSC, 2014. 217 p.

HERRMANN, M. L. P. **Aspectos Ambientais da Porção Central da Ilha de Santa Catarina**. 1989. 254 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1989.

HUTCHINSON, M. F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. Journal Of Hydrology. Canberra, p. 211-232. abr. 1989. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169489900735>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

LINSLEY, R.K. Jr. et al. **Hydrology for Engineers**. 2 ed. New 124d124P: McGraw-Hill, 1975. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2.ed, 2008.

LOPES, E. E. **Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MAGALHÃES et al. **Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de Inundação em Guaçuí, ES: Uma análise comparativa entre dois métodos**. Cadernos de Geociências, Espírito Santo, v. 8, n. 2, nov. 2011.

MENDES, C. A. B.; Cirilo, J.A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. 536 p.

MOURA, A. C. M.; Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análises Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2009, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2889-2906. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007> >. Acesso em: 02 set. 2014.

MORAES, S. T.; CLARO, M. F. As diferentes escalas de sustentabilidade aplicadas na análise da sub-bacia do rio Córrego Grande, Florianópolis. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO, 2., 2012, Natal. **Anais...** Florianópolis: RN/BSE-CCHLA, 2012. p. 1 - 15. Disponível em: <<http://www.anpur.org.br/revista/rbeur/index.php/APP/article/view/3849/3917>>. Acesso em: 02 jul. 2014.

MONTZ, B. E.; GRUNTFEST, E. Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. **Environmental Hazards**, v. 4, n. 1. p. 15-22, 2002.

NOGUEIRA, J. D. L.; AMARAL, R. F. do A.; Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4117-4123. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.22/doc/4117-4123.pdf> >. Acesso em: 03 jul. 2014.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. **Relação entre a Susceptibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 5-15, mar. 2011.

OLIVEIRA, G. G.; PENTEADO, A. F.; SALDANHA, D. L.; ROSS, J. L. S. Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2009, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4173-4180. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007> >. Acesso em: 06 jul. 2014.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. **A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais.** In: Conceitos de Bacias Hidrográficas. Teorias e Aplicações. Ilhéus: Editus, 2005.

PORTO, R. L. L; FILHO, K. Z; Da SILVA, R. M. **Bacias Hidrográficas - PHD 307 Hidrologia Aplicada.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 1999. 35 p.

RUFFINO, P. H. P.; SANTOS, S. A. **Utilização do conceito Bacia Hidrográfica para capacitação de educadores.** In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. F. M. Conceitos de Bacias Hidrográficas. Ilhéus: Editus, 2002, p. 111-123.

SAATY, R. W. **The Analytic Hierarchy Process - What it is and how is it used.** Mathematical Modelling. Great Britain, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica,** Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1991.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process.** European Journal Of Operational Research. North-holland, p. 9-26. set. 1990.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p.

SANTOS, A. R. **ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais.** 2. ed. Alegre: Caufes, 2010. 184 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática,** São Paulo/SP, Ed. Oficina de Textos, 2004.

SCHMIDT, A. M., **Processo de Apoio á Tomada de Decisão, Abordagens: AHP e MACBETH – 1995.** Dissertação de Mestrado, Florianópolis, 1995.

SILVA, C. H. C. et al. Determinação de áreas de risco e simulação de intervenções através do uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5443-5449. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2009/> >. Acesso em: 02 set. 2014.

SPRING. **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/>>. Acesso em: 04 set. 2006.

TONELLO, K. C. et al. **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Ganhães - MG**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p.849-857, out. 2006.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre: Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005. 269 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2.ed, ABRH, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Conceção**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.2 – jul/dez, 2007.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A.; GOLDENFUM, J. GERMANO, A. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 275-324.

VIEIRA, S. J. **Transdisciplinaridade Aplicada à Gestão Ambiental de Unidade de Conservação. Estudo de Caso: Manguezal do Itacorubí. Florianópolis/SC**. Sul do Brasil. 2007. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Centro Tecnológico, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/baciadoitacorubi/pdf/tesesalvio.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

ZĂVOIANU, I. **Morphometry of Drainage Basins**. Developments in Water Science. V. 20. 2nd Edition. Elsevier. 250p, 1985.

Apêndice A. Quantitativo das classes contribuintes para a susceptibilidade à inundações.

Classes		Muito alta		Alta		Média		Baixa		Muito baixa	
		Área [ha]	%	Área [ha]	%	Área [ha]	%	Área [ha]	%	Área [ha]	%
Altitude	0 a 50 metros	45,86	99%	39,36	92%	34,44	43%	24,05	7%	0,00	0%
	50 a 100 metros	0,04	0%	1,52	4%	16,55	21%	55,56	15%	0,00	0%
	100 a 150 metros	0,25	1%	0,85	2%	13,71	17%	59,78	16%	0,00	0%
	150 a 200 metros	0,00	0%	0,21	0%	4,08	5%	55,41	15%	0,00	0%
	200 a 250 metros	0,00	0%	0,13	0%	1,21	2%	47,95	13%	0,00	1%
	250 a 300 metros	0,00	0%	0,16	0%	1,91	2%	49,39	13%	0,21	32%
	300 a 350 metros	0,00	0%	0,07	0%	4,85	6%	43,34	12%	0,08	13%
	350 a 400 metros	0,00	0%	0,30	1%	2,81	4%	27,35	7%	0,18	28%
	Superior a 400 metros	0,00	0%	0,02	0%	0,55	1%	3,03	1%	0,17	26%
Declividade	Relevo plano	35,07	76%	5,15	12%	0,17	0%	0,02	0%	0,00	0%
	Relevo suavemente ondulado	10,75	23%	28,90	68%	2,17	3%	0,24	0%	0,00	0%
	Relevo ondulado	0,34	1%	8,43	20%	44,70	56%	7,89	2%	0,00	0%
	Relevo fortemente ondulado	0,00	0%	0,23	1%	32,78	41%	297,96	81%	0,01	2%
	Relevo montanhoso	0,00	0%	0,00	0%	0,43	1%	59,54	16%	0,21	32%

Classes		Muito alta		Alta		Média		Baixa		Muito baixa	
		Área [ha]	%	Área [ha]	%	Área [ha]	%	Área [ha]	%	Área [ha]	%
Relevo fortemente montanhoso		0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,26	0%	0,42	66%
Uso e ocupação	Corpos d'Água	0,17	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
	Pavimento	8,57	19%	3,09	7%	2,35	3%	0,43	0%	0,00	0%
	Condomínios verticais	6,86	15%	1,12	3%	0,31	0%	0,00	0%	0,00	0%
	Lotes menores que 500 m²	17,93	39%	14,94	35%	5,46	7%	0,96	0%	0,00	0%
	Lotes maiores que 500 m²	2,48	5%	3,77	9%	12,12	15%	0,75	0%	0,00	0%
	Espaços abertos e parques	9,63	21%	10,75	25%	22,01	27%	38,72	11%	0,00	0%
	Florestas	0,49	1%	8,80	21%	37,87	47%	325,03	89%	0,64	100%
Solos	Solos Podzólicos Vermelho-Amarelo	31,77	69%	36,49	86%	61,29	76%	270,45	74%	0,60	93%
	Solos Cambissolos	0,00	0%	0,17	0%	2,64	3%	19,75	5%	0,05	7%
	Solos Litólicos	0,02	0%	0,70	2%	9,99	12%	22,48	6%	0,00	0%
	Areias Quartzosas	14,29	31%	4,80	11%	0,17	0%	0,00	0%	0,00	0%
	Associação Solos Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelo	0,02	0%	0,46	1%	6,06	8%	53,20	15%	0,00	0%

Fonte: Elaborado por autor, 2014.